

O TESTE DE TURING EXPANDIDO APLICADO À COMPOSIÇÃO MUSICAL ALGORÍTMICA

 <https://doi.org/10.56238/arev6n2-091>

Data de submissão: 10/09/2024

Data de publicação: 10/10/2024

Clenio B. Gonçalves Junior

Doutorado

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

Murillo Rodrigo Petrucelli Homem

Doutorado

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - Departamento de Computação

RESUMO

O campo de pesquisa em composição musical algorítmica investiga o desenvolvimento de sistemas que têm a capacidade de produzir obras de modo automático. Nesse contexto observam-se lacunas relacionadas à interação humano-computador via música digital, constatando-se uma demanda por trabalhos que realizem avaliações do material produzido com relação ao ouvinte. O presente trabalho descreve a avaliação de um sistema de composição musical algorítmica por meio da aplicação do teste de Turing expandido. O experimento contou com a participação de 237 voluntários, subdivididos em 3 grupos: 10 profissionais que atuam na área musical, 39 participantes com conhecimento musical especializado e 188 participantes com pouco ou nenhum conhecimento musical. Foram utilizados trechos de 3 composições, sendo uma delas gerada pelo sistema de composição algorítmica Fraseado e as outras duas composições clássicas no contexto ocidental. Dentre os resultados obtidos constatou-se que 77,1% dos participantes identificaram o trecho gerado algoritmicamente como tendo sido criado pelos métodos tradicionais de composição, indicando a capacidade do sistema em exibir um comportamento equivalente ao ser humano.

Palavras-chave: Computação Musical. Composição Algorítmica. Teste de Turing Expandido. Inteligência Artificial. Representação de Conhecimento. Interação Humano - Computador.

1 INTRODUÇÃO

Computação Musical (CM) é um campo de pesquisa em Ciência da Computação com características fortemente interdisciplinares [Miletto et al. 2004]. Estudos são direcionados a aspectos que envolvem conceitos como interação humano-computador, sistemas de recomendação, inteligência computacional, projeto de hardware, educação auxiliada por computador, sistemas interativos de tempo real, entre outros. Em seu processo de desenvolvimento, diversificadas áreas de conhecimento - como Pedagogia, Saúde, Engenharias e Psicologia - têm sido relacionadas em variados tipos de aplicações [Gimenes et al. 2003].

Uma decorrência desse conhecimento é que os desenvolvimentos realizados nesta área possibilitam ampliar a compreensão de conceitos relacionados a outros campos de pesquisa. Pode-se tomar como exemplo o estudo de processos cognitivos associados à atividade de um compositor musical [Lima 1998, Oliveira 2007]. Além destes, a investigação de elementos ligados aos ramos da musicoterapia, comunicação, aspectos legais, sociais, éticos e de negócios, possibilita realizar a análise, processamento e síntese de dados acústicos e simbólicos [Fornari 2015], trazendo importantes contribuições em cada *métier*. Em Ciência da Computação, estudos em CM têm fornecido auxílio no trabalho envolvendo interação humano-computador, paradigmas de programação, processos cognitivos etc [Minsky 1981].

1.1 COMPOSIÇÃO MUSICAL ALGORÍTMICA

Dentre os aspectos abordados, um tópico de interesse é o que lida com a questão da música gerada por computador [Whalley 2005]. Historicamente, elementos ligados à composição algorítmica e criação automática de trechos musicais têm obtido especial destaque [Francis 2015]. Métodos têm sido desenvolvidos no sentido de que o computador seja capaz de obter conhecimento e adquirir experiência em domínios especializados. Tais métodos possibilitam que a máquina seja capaz de exibir comportamento equivalente a um ser humano no que tange a características como manifestações culturais, expressões performáticas e assimilação de estilos específicos a um determinado compositor ou período histórico [Barbosa J 2015, Maximiliano et al. 2015].

Composição musical algorítmica (CA) é o campo de conhecimento que trata dos processos envolvidos na criação de estruturas musicais (melódicas, rítmicas, harmônicas e tímbricas) a partir de métodos computacionais formais. Esses processos ocorrem sob perspectivas de áreas como Matemática, Inteligência Artificial, Psicologia e Gramática (Paz et al., 2016; Liu; Ting, 2017). A música gerada pelo computador pode ser utilizada a partir de demandas específicas em aplicações de baixo custo, favorecendo a acessibilidade, além de servir como apoio em variadas atividades

profissionais (Krause, 2017; Cao et al., 2015). Técnicas no campo da Inteligência Artificial têm recebido destaque devido aos resultados obtidos ao incorporar aspectos de manifestações culturais em um sistema de composição (Francis, 2015). Métodos de aprendizado de máquina têm sido utilizados com o objetivo de que aplicações possam inferir características de expressões performáticas e assimilar estilos específicos a determinados compositores ou períodos históricos (Maximiliano et al., 2015).

Dentre as aplicações decorrentes do processo de Representação de Conhecimento Musical, a CA caracteriza-se por ser uma atividade transdisciplinar, envolvendo elementos tanto cognitivos, como relacionados a técnicas de programação. Historicamente, seu principal campo de pesquisa concentra-se no domínio da Inteligência Artificial, no que concerne a aspectos como aprendizado de máquina e raciocínio automático.

As motivações que têm conduzido ao desenvolvimento de sistemas de composição algorítmica podem ser elencadas de acordo com alguns aspectos. Dentre eles, destacam-se o interesse de um compositor em criar programas como um modo de expressão de seu processo particular de criação. Um outro fator refere-se ao desenvolvimento de programas que sirvam como ferramentas gerais auxiliando outros compositores durante esse processo. Há ainda o interesse em implementar teorias referentes a estilos musicais específicos. Pode-se ainda elencar a motivação no sentido de se codificar teorias referentes aos processos cognitivos associados à composição [Pearce et al. 2002]. A Figura 1 caracteriza essas motivações, indicando seus domínios e as atividades relacionadas.

Figura 1: Motivações para o desenvolvimento de programas de Composição Algorítmica.

Domínio	Atividade	Classificação
Composição	Composição algorítmica	Expansão do repertório composicional
Engenharia de software	Projeto de ferramentas para composição	Desenvolvimento de ferramentas para compositores
Musicologia	Modelagem computacional de estilos musicais	Proposta e avaliação de teorias para estilos musicais
Ciências cognitivas	Modelagem computacional de cognição musical	Proposta e avaliação de teorias cognitivas para composição musical

Fonte: (Pearce; Meredith; Wiggins, 2002).

O sistema Fraseado, utilizado nesse trabalho, realiza a composição algorítmica tendo o campo da programação (Engenharia de Software) como principal motivação. Nesse sentido, a abordagem apresentada - realizando a Representação de Conhecimento Musical - fornece subsídios para o

desenvolvimento de sistemas que, entre outras atividades, tenham sua aplicação voltada à composição musical automática.

Como forma de avaliação dessa abordagem, o presente trabalho propõe o *Teste de Turing Expandido*, aplicado à Computação Musical. Essa proposta parte do princípio fundamental estabelecido pelo Teste de Turing clássico (TT) [Turing 1950] e realiza um levantamento com o intuito de obter informações adicionais, estudando características na percepção de composições geradas pelo computador. Tais informações serão analisadas no sentido de investigar aspectos produzidos pela composição no ouvinte humano.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Strasheela [Anders 2007] é um sistema de composição multiparadigma baseado na definição de problemas de satisfação de restrições musicais. Enfatiza a programabilidade de três componentes fundamentais: representação musical, mecanismo de aplicação de regras e processo de busca. Qualquer informação pertencente à partitura é acessível por meio de objetos específicos e pode ser usada para se obter derivações. O usuário pode otimizar a busca pela satisfação de uma restrição particular através da programação de estratégias distribuídas, utilizando variáveis dinâmicas. EV Meta-Model [Alvaro et al. 2005] é um sistema para representação de conhecimento musical voltado à composição assistida por computador. Foi proposto como uma ferramenta genérica para representação de diferentes níveis de abstração musical. É um sistema de representação dinâmico, transmitindo essa característica ao componente musical representado.

Pachet *et al.* [Pachet et al. 1996] basearam-se na Programação Orientada a Objetos, utilizando a linguagem Smalltalk, para criar um framework no contexto de música tonal. Desenvolveram o sistema MusES, que contém uma representação dos conceitos básicos de harmonia tonal, como notas, intervalos, acordes, escalas e melodias. Serapião desenvolveu o sistema Ritornello [Serapiao 2004], um Framework para Representação do Conhecimento Musical. Lima [Lima 1998] desenvolveu um sistema de composição musical baseado na modelagem de aprendizado por estilo musical. Este sistema é capaz de criar composições inteiramente inéditas e totalmente fiéis ao estilo musical de um determinado compositor. Utilizando a linguagem funcional Clean, elaborou um sistema que analisa uma partitura musical léxica e sintaticamente, extraindo o estilo musical implícito; um outro módulo realiza a composição, baseando-se nas informações extraídas. A partitura gerada é convertida em um arquivo MIDI.

GeNotator [Thywissen 1999] é um ambiente que explora a aplicação de técnicas evolutivas na composição musical. O sistema concentra-se na definição de mecanismos inspirados em processos da

teoria evolutiva como algoritmos genéticos utilizando a técnica de busca heurística. VexPat [Santana et al. 2003] é um sistema de auxílio à tarefa de extração de padrões de seqüências musicais. SOM-G [Silva 2009] é uma linguagem de processamento sonoro para síntese granular que possui uma estrutura sintática concisa e eficiente. É voltado tanto à orquestração de instrumentos, com alto grau de controle sobre parâmetros granulares, bem como à interpretação/renderização de partituras polifônicas que utilizem esses instrumentos.

Alguns outros trabalhos são voltados ao estabelecimento de elementos conceituais. Wulforst [Wulforst et al. 2003] propôs uma arquitetura aberta para um sistema multi-agente musical. Essa arquitetura possibilita a simulação de comportamento de um grupo vocal/instrumental por meio da interação de uma comunidade de agentes baseada em eventos musicais. Bittencourt [Bittencourt 1998] relaciona diversas técnicas utilizadas com seus fundamentos filosóficos e matemáticos, partindo desde a descoberta por Pitágoras da relação de intervalos musicais associados a experiências subjetivas, passando pela lógica de primeira ordem e chegando a métodos atuais de representação de conhecimento. Teixeira [TEIXEIRA 1997] utilizou a noção de ponto de vista em harmonia para representar conhecimento e eventos musicais. Mello, em sua dissertação de mestrado [Mello 2003], utilizou sistemas semióticos para propor uma investigação epistemológica envolvendo pesquisas atuais no campo da cognição musical. Miranda, em sua tese de doutorado [Miranda 1995] utilizou gramáticas formais voltadas ao aprendizado computacional e síntese acústica.

Dentre os trabalhos apresentados, destacam-se características fundamentais com relação à representação de conhecimento musical, paradigmas de programação e composição algorítmica. Pode-se ainda observar que a utilização da técnica de PLI não ocorre em nenhum caso. Tal constatação corrobora com o levantamento feito na revisão da literatura, onde, a partir da aplicação dos mecanismos de busca sistemática em um total de 7075 trabalhos, apenas 3 utilizam a PLI em composição algorítmica, sendo que nenhum deles faz uso do recurso de programação multiparadigma [Goncalves and Homem 2015].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na produção de software musical, existe uma forte dependência de fatores como paradigmas de raciocínio, linguagens de programação, bibliotecas, APIs e frameworks, além da escolha de um ambiente de desenvolvimento que possibilite a integração eficiente das tecnologias utilizadas [Nierhaus 2009]. A capacidade de representação do conhecimento envolvido possibilita que características intrínsecas à atividade musical sejam mantidas por um modelo que permita, da forma mais natural possível, expressar o raciocínio lógico e a estrutura da informação manipulada.

Neste sentido, adotou-se no presente trabalho uma abordagem multiparadigma para a configuração de um ambiente de desenvolvimento musical. Tal ambiente possibilita a criação de software direcionado à produção sonora de modo abrangente, além de atender requisitos específicos da atividade de composição musical automática. Tal ambiente resultou em uma plataforma de software livre, por meio da utilização de sistemas de código aberto, os quais são apresentados na próxima sessão.

Para tanto, foi elaborada uma infraestrutura de programação visando servir como base para o desenvolvimento de aplicações. Desse modo, foram integrados os 4 paradigmas fundamentais de programação: Imperativo, Orientado a Objetos (ambos pela linguagem Java), Funcional (utilizando Scala) e Lógico (por meio de Prolog). O tratamento sonoro básico foi feito pelas bibliotecas jMusic e JavaSound. A aplicação da Programação Lógica Indutiva foi feita por meio do sistema Aleph.

A integração desses componentes foi feita pelo IDE Eclipse, tendo a linguagem Java como base. A integração de Java com Prolog foi feita pelo módulo JPL. Prolog faz o interfaceamento direto com Aleph (que foi desenvolvido em Prolog). As bibliotecas jMusic e JavaSound fazem a integração com Java, assim como a linguagem Scala, sendo esta última realizada por meio do módulo Maven.

3.1 INFRAESTRUTURA PARA O DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Inicialmente, foi abordada a questão dos paradigmas de programação, que constituem o ferramental básico para a representação do conhecimento. Métodos como Sistemas de Produção, Redes Semânticas e Frames são utilizados para essa finalidade [Holden 2005]. Além destes, modelos atuais fundamentam-se em sistemas matemáticos formais, como Programação Lógica Indutiva, ASP (Answer Set Programming) e Programação por Restrições [Anders 2007]. Tais requisitos são característicos do paradigma declarativo e baseiam-se na Lógica de Primeira Ordem.

Do ponto de vista da abstração de dados, o paradigma orientado a objetos possibilita uma descrição natural dos componentes musicais com a expressividade que as respectivas linguagens fornecem. Nelas, os componentes lógicos e procedurais, necessários à programação imperativa, também são disponibilizados. A linguagem Java, além de incorporar as principais características de orientação aos objetos, possui uma biblioteca nativa específica para o processamento de áudio ? Java Sound. Atendendo às necessidades declarativas, a linguagem Prolog implementa diretamente a lógica de primeira ordem por meio de cláusulas de Horn.

Com relação ao tratamento das estruturas musicais, foi realizado um levantamento das plataformas de programação que possibilitam a manipulação do arcabouço musical. Algumas bibliotecas e frameworks foram testados destacando-se o ambiente jMusic, desenvolvido na Universidade de Tecnologia de Queensland [Brown 2005]. Esta biblioteca implementa elementos

sonoros básicos, como frequência tonal, timbre e rítmica, além de componentes musicais complexos como sequenciamento melódico, estruturas harmônicas, encadeamentos e cadências. Por meio de sua API, jMusic possibilita a utilização de formatos para dados musicais variados, incluindo a integração com ferramentas para manipulação de arquivos MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*), LilyPond (sistema para transcrição musical baseado em L^AT_EX) e notação de partitura convencional. Além disso, sua implementação inclui o controle do hardware específico possibilitando o trabalho de síntese sonora, fazendo uso de bancos de áudio disponíveis nas placas controladoras.

Considerando as especificações acima, bem como o modelo de software de código aberto, realizou-se a instalação e configuração dos seguintes componentes: sistema operacional, utilitários e interface gráfica Debian GNU/Linux, ambiente integrado de desenvolvimento Eclipse, implementação SWI-Prolog, plataforma Java Enterprise Edition, bibliotecas Java Sound e jMusic. A implantação realizada levou ao estabelecimento de um ambiente híbrido atendendo requisitos fundamentais para a Computação Musical. Possibilitou-se a programação multiparadigma, manipulação e síntese sonora, bem como a representação do conhecimento musical por meio de cláusulas de Horn.

3.2 AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE CA

Desde as origens da computação moderna, algumas questões têm sido levantadas no sentido de tecer avaliações sobre um sistema de software:

- O sistema se comporta como um ser humano?
- É possível modelar a inteligência por meio do computador?
- Como avaliar conceitos como criatividade e arte?
- O computador apresenta comportamento inteligente?

A resposta a essas questões é dependente da definição utilizada para expressões como *inteligência*, *pensamento* e *criatividade*. Com o decorrer do desenvolvimento da área computacional, questões mais objetivas têm sido abordadas. Tais questões lidam com aspectos como eficiência, segurança, portabilidade e otimização de recursos. Com relação aos paradigmas de programação, questões como clareza, abstração de dados, reusabilidade, polimorfismo e expressividade têm sido tratadas. Em Engenharia de Software, o conceito de qualidade relaciona-se a um conjunto de características intrínsecas a um produto, processo ou sistema, sendo avaliado o grau em que esses elementos atendem aos objetivos inicialmente estipulados. Nesse caso, são abordadas questões como satisfação do usuário e conformidade quanto a requisitos [dos Santos et al. 2008].

Collins destaca a existência de uma série de críticas com relação à abrangência da Inteligência Artificial, a maioria deles antecipada por Turing em seu artigo original. Essas críticas referem-se à

impossibilidade de um computador comportar-se como um ser humano em aspectos sensoriais, emocionais, intuitivos etc [Collins 2006]. Conforme Souza e Faria apontam, uma interpretação incorreta com relação aos componentes de computabilidade e validação de um sistema pode conduzir a argumentos falaciosos quanto ao potencial de um sistema [de Souza and Faria 2011]. Para tanto, seria necessário o estabelecimento do conceito de criatividade a partir de uma definição formal, efetiva e sem ambiguidades. Com isso, torna-se impossível realizar uma avaliação de softwares que pertençam a essa categoria, que venha a ser completamente rigorosa e livre de controvérsias [Ariza 2013]. Em adição a este fato, Pearce et al., apontam uma lacuna existente em grande parte dos trabalhos publicados envolvendo composição algorítmica. Tal lacuna refere-se a três aspectos [Pearce et al. 2002]:

1. Especificação imprecisa dos objetivos práticos ou teóricos da investigação;
2. Uso de uma metodologia inadequada para atingir esses objetivos;
3. Falta de um modelo para avaliação de resultados que seja controlado, mensurável e repetível.

Ariza afirma que a utilização do chamado “Teste de Turing Musical” como forma de validação de um sistema de CA, somente faz sentido se as aspirações do sistema são voltadas à imitação do processo criativo, sem o objetivo de que ele seja realmente criativo, ou possa criar uma obra de arte completamente inovadora [Ariza 2009].

3.3 DEFININDO O OBJETIVO DA INVESTIGAÇÃO

Berrar e Konagaya apresentam as limitações quanto à avaliação de um sistema no que se refere a conceitos como “inteligência”, “pensamento” ou “criatividade” por sua dificuldade de compreensão e consenso. Com isso, indicam a utilização de testes no estilo de Turing para o campo da música criada artificialmente.

Nesse sentido, destacam a importância do TT com o intuito de motivar o desenvolvimento de formas alternativas de inteligência, diferentes do modo humano de pensar [Berrar et al. 2013]. Conforme Bishop et al. afirmam, o TT está “comportamentalmente” consolidado por meio de exemplos não-interativos como *AARON* e *Emmy*. Isso não implica obrigatoriamente na capacidade artística genuína ou criatividade pelos computadores - pois tal discussão depende de argumentos filosóficos altamente discutíveis. Entretanto, este fato constata características da performance do sistema computadorizado, que foi o foco principal do trabalho de Turing [Bishop and Boden 2010].

Kosteletos e Georgaki propõem um novo escopo para o uso do TT, não como um critério de avaliação de inteligência, mas como um “instrumento” para traçar certas características sobre o

juízo humano em vários campos. Desse modo, testes no estilo de Turing estabelecem um procedimento no qual “o que é julgado passa a ser o próprio julgamento” [Kosteletos and Georgaki].

Com relação à importância da coleta de dados adicionais, Bown mostra que resultados positivos podem ser alcançados por meio do TT, ou seja, um sistema eficiente pode passar por humano. Entretanto a maior riqueza de elementos consiste na avaliação dos artefatos cognitivos e sensoriais produzidos pelo teste. Com esse intuito, este pesquisador aplicou um teste em que o aspecto computacional do sistema não foi ocultado. Em vez disso, o estudo analisou questões de engajamento, experiência e percepção em uma interação improvisada, analisando as reações produzidas nos participantes [Bown 2015].

Como uma analogia com relação ao processo criativo, podemos observar no campo musical, as composições “Bachianas Brasileiras” de Heitor Villa-Lobos e “Bachianinha nº 1” de Paulinho Nogueira. As primeiras são um conjunto de nove composições, escritas entre 1930 e 1945, nas quais utiliza-se o estilo barroco, tomando-se composições de Johann Sebastian Bach como referência [Latham 2004].

Conforme Felice apresenta, Villa-Lobos utilizou diversas influências externas em sua obra, valendo-se de composições modernistas da Europa, sendo que este intercâmbio técnico e estético não demonstra falta de originalidade [Felice 2016]. Felice afirma ainda que as Bachianas Brasileiras constituem uma obra que se utiliza de “citações barrocas com uma apropriação neoclássica e, portanto, inclui conteúdos tradicionais europeus e ferramentas composicionais de vanguarda, ao mesmo tempo em que busca uma sonoridade nacional”, sendo isso realizado sem detrimento ao espírito engenhoso e grande criatividade do autor brasileiro.

Apesar de contemporâneo de Villa-Lobos, Paulinho Nogueira não o conheceu pessoalmente, entretanto a composição desse grande músico teve em Villa-Lobos sua grande inspiração, maior até do que no próprio Bach. Nogueira era grande apreciador da “releitura” feita por Villa-Lobos da obra de Bach, principalmente por se tratar de um compositor comprometido com as terras brasileiras. Foi, inclusive, por meio de Villa-Lobos que Paulinho Nogueira entrou em maior contato com a obra de Bach [Nogueira 2017].

Diante disso, torna-se evidente o aspecto fundamentalmente subjetivo do que possa ser entendido por “criatividade”, no que tange aos seus níveis de manifestação e formas de apreciação ou juízo. Nesse ponto, Berrar e Schuster levantam a questão: “É realmente tão importante que um programa seja genuinamente criativo?”. Pois enquanto nos atemos a determinados tipos de discussão, estão sendo produzidas belas pinturas, histórias comoventes são elaboradas, anedotas são criadas e movimentos brilhantes de xadrez têm sido desenvolvidos [Peter Berrar and Schuster 2014].

4 PROPOSTA PARA O TESTE DE TURING EXPANDIDO

O teste de Turing aplicado a composições musicais busca determinar se uma pessoa consegue distinguir se um trecho musical foi composto por um computador ou por um ser humano [Hiraga et al. 2004]. Diante das questões abrangidas na avaliação de um sistema de CA, o “Teste de Turing Expandido” (TTE) concentra-se em identificar aspectos de contextualização de uma composição gerada automaticamente, de acordo com um ou mais públicos-alvo específicos.

Com esse intuito, apresenta-se uma proposta de avaliação que, a partir do teste clássico, busca a realização de uma coleta de informações, no sentido de identificar aspectos relacionados aos efeitos que a composição possa produzir no ouvinte humano. Enquanto a seção anterior tenha apresentado um breve panorama da problemática envolvida, a presente proposta não tem o objetivo de aprofundar-se nas questões filosóficas levantadas. Além disso, ela não define um trabalho conclusivo, mas consiste em uma concepção que visa fornecer elementos de apoio na avaliação desse tipo de sistema.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TESTE

O teste realiza a coleta de dados a partir de parâmetros qualitativos, buscando identificar elementos despertados nos ouvintes com relação a:

- Memórias;
- Emoções;
- Associações culturais;
- Associações históricas;
- Preferências estéticas;
- Utilização em contextos específicos.

Nesse sentido, o foco da avaliação consiste em identificar se a composição produzida adéqua-se a determinados sistemas musicais (por exemplo, música ocidental tradicional). O modo de apresentação musical deve ser definido, seja a composição propriamente dita, ou componentes como performance ou interação. De acordo com o TT clássico, é importante que juntamente com a composição automática, seja apresentada uma ou mais composições humanas. Além disso, o público-alvo deve ser previamente estabelecido, podendo ser formado por participantes que atuem profissionalmente na área, ou que possuam conhecimento musical especializado, público geral, ou ainda outros tipos de categorização.

A seguir, apresentam-se aspectos a serem levantados na pesquisa. Alguns deles se repetem por caracterizarem pontos de vista alternativos sobre os elementos analisados.

4.2 ABORDAGEM

Quanto à abordagem dois tipos podem ser utilizados: Direcionada e Espontânea. Na abordagem Direcionada, busca-se despertar elementos pré-definidos no participante, o que não ocorre na abordagem Espontânea.

Abordagem Direcionada:

- Composições buscando transmitir sensações específicas, como tranquilidade ou estranheza; ou que sejam propositalmente indiferentes;
- Identificação de sentimentos despertados;
- Utilização de estilos pré-definidos.

Abordagem Espontânea:

- Memórias despertadas;
- Identificação de contextos em que a composição se aplique;
- Componentes históricos associados.

4.3 TIPOS DE DADOS

Quanto aos dados, estes podem ser tanto Objetivos como Subjetivos. Nos dados Objetivos, as respostas são fornecidas aos participantes, que de acordo com a situação, pode escolher por uma, várias ou nenhuma resposta. Nos dados Subjetivos, não são fornecidas alternativas de respostas, as quais ficam integralmente a critério do participante.

Dados Objetivos:

- Identificação com composições já ouvidas;
- Origem da composição Humano X Computador (TT clássico);
- Identificação de preferência quanto à composição.

Dados Subjetivos:

- Identificação cultural;
- Identificação cronológica.

4.4 ASPECTOS ASSOCIATIVOS, CONCEITUAIS E EXPERIENCIAIS

Com relação aos aspectos Associativos, Conceituais e Experienciais, busca-se identificar elementos pré-estabelecidos nos participantes. Adicionalmente realiza-se a observação de sua experiência ao ouvir os trechos, além de buscar associações feitas.

Aspectos Associativos:

- Identificação com composições já ouvidas;

- Identificação cultural;
- Identificação cronológica;
- Origem da composição Humano X Computador (TT clássico).

Aspectos Conceituais

- Identificação de contextos em que a composição se aplique;
- Componentes históricos associados;
- Identificação cronológica;
- Associação de estilo.

Aspectos Experienciais

- Memórias despertadas;
- Sentimentos despertados;
- Preferência quanto à composição.

4.5 QUESTÕES A SEREM APLICADAS

Considerando os aspectos apresentados nas seções anteriores, propõe-se a utilização das seguintes questões:

1. Você já ouviu alguma música com estilo semelhante?
2. Você associa a composição à cultura de algum país? Cite em caso afirmativo.
3. Há alguma situação em que músicas nesse estilo poderiam ser tocadas? Cite em caso afirmativo.
4. O trecho lhe traz algum tipo de memória? Cite em caso afirmativo.
5. Você pode associar o trecho a algum evento histórico? Cite em caso afirmativo.
6. Quais sentimentos lhe despertaram ao ouvir o trecho?
7. Em um período de quanto tempo atrás o trecho se enquadra melhor?
8. Marque um ou mais estilos musicais que você associa ao trecho.
9. Você gostaria de ouvir músicas no estilo do trecho apresentado?
10. O trecho foi composto por um ser humano ou um computador?

4.6 UTILIZAÇÃO DE DADOS EXPLORATÓRIOS

A partir dos dados coletados no teste, a exploração realizada contribui na identificação de aspectos concernentes às avaliações dos participantes. Além dos elementos apresentados nas seções anteriores, medidas estatísticas podem ser utilizadas nessa exploração:

- Medidas de Dispersão: Média, Variância, Desvio Padrão e Curtose;

- Medidas de Inter-relação: Correlação, Covariância e Teste-F.

Essa exploração busca identificar, a partir dos valores qualitativos, se as reações apresentadas pelas pessoas ao ouvir o trecho do computador possuem características que se enquadram no padrão dos trechos compostos por autores humanos. Busca-se com isso verificar o grau de uniformidade na percepção do trecho automático com relação aos outros.

5 APLICAÇÃO DO TESTE

O Teste de Turing Expandido foi aplicado nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus São Roque. A aplicação sob o acompanhamento da Coordenadoria de Apoio ao Ensino e em parceria com o Núcleo Interdisciplinar de Produção e Pesquisa Audiovisuais do campus.

Houve a participação anônima de 237 voluntários pertencentes às comunidades interna e externa ao campus, categorizados em 3 tipos, de acordo com o grau de envolvimento com a área musical, com número proporcional entre cada categoria de aproximadamente 4 para 1.

- PROF - Atuam na área musical (10 participantes);
- ESP - Possuem conhecimento musical especializado (39 participantes);
- GER - Não possuem conhecimento especializado em música (188 participantes).

Foram utilizados trechos de 3 composições, sendo uma delas gerada pelo sistema Fraseado, e duas composições clássicas. Os trechos são os seguintes:

- Trecho 1 (T1) : Uirapuru - Heitor Villa-Lobos
- Trecho 2 (T2) : Cálculo Ametista - Composição automática
- Trecho 3 (T3) : Overture - Piotr Ilitch Tchaikovsky

Os trechos musicais foram previamente gravados utilizando o seguinte equipamento:

- Sistema de Captação: Hexafônico
- Controlador MIDI: Roland GK-3
- Sistema de sintetização: Sintetizador Roland GR-55

Com relação às composições humanas, o primeiro trecho (T1) foi selecionado sem a intenção de um motivo melódico específico, enquanto que no segundo (T3), buscou-se causar a sensação de “estranheza”.

Para o trecho produzido pelo sistema Fraseado (T2), realizou-se a seleção de 3 frases para as partes referentes ao início, meio e fim da composição, buscando atender a 2 critérios: a) adequação ao padrão clássico tradicional; b) motivo melódico associado ao sentimento de “tranquilidade”.

Devido à grande quantidade de informações coletadas, os dados abaixo não serão apresentados nesse trabalho:

- Associação de aspectos culturais;
- Contextos de aplicação da composição;
- Associação histórica;
- Associação por período de tempo;
- Associação por estilo musical.

Os resultados obtidos com a aplicação do teste serão apresentados no próximo capítulo.

5.1 APRESENTAÇÃO EXPLORATÓRIA DE DADOS

Neste capítulo apresentam-se elementos coletados pela aplicação do Teste de Turing Expandido. Inicialmente, será realizada uma exploração sobre os dados e em seguida serão feitas considerações baseadas nos resultados.

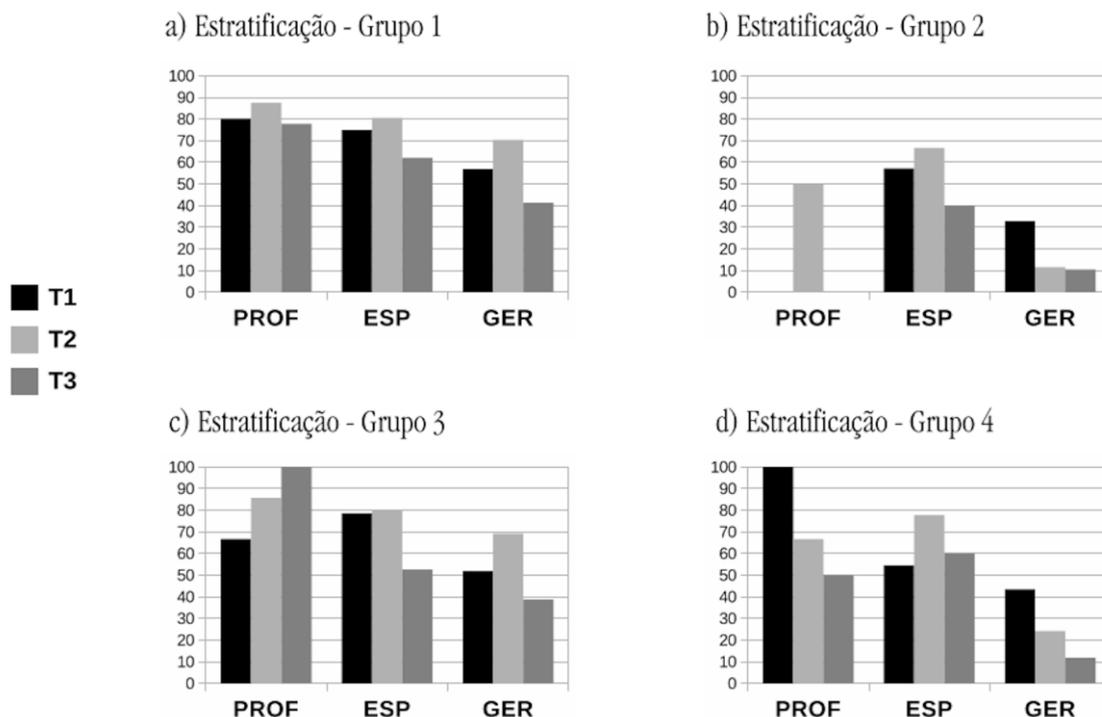
Para a realização desta análise, os conjuntos de dados foram estratificados a partir dos valores objetivos coletados. Buscou-se compreender aspectos relativos aos participantes que gostariam de ouvir trechos semelhantes aos apresentados. Desse modo, o conjunto-alvo consiste nos grupos de participantes respondendo afirmativamente à questão 9 “*Você ouviria músicas no estilo do trecho apresentado?*”.

A estratificação foi realizada partindo-se dos conjuntos gerados pelas questões 1 “*Você já ouviu alguma música com estilo semelhante?*” e 10 “*O trecho foi composto por um ser humano ou um computador?*”. Com isso foram gerados 4 conjuntos de origem, tomados como base para os seguintes grupos utilizados nesta análise:

- G1: Já ouviram e gostariam de ouvir trechos semelhantes.
- G2: Não ouviram e gostariam de ouvir trechos semelhantes.
- G3: Trecho composto por humano e gostariam de ouvir trechos semelhantes.
- G4: Trecho composto por computador e gostariam de ouvir trechos semelhantes.

A Figura 2 apresenta os grupos que gostariam de ouvir os trechos compostos, categorizados por participantes de acordo com os grupos apresentados na seção

Figura 2: Participantes que gostariam de ouvir trechos semelhantes aos apresentados.



5.2 EXPLORAÇÃO DE DISPERSÃO

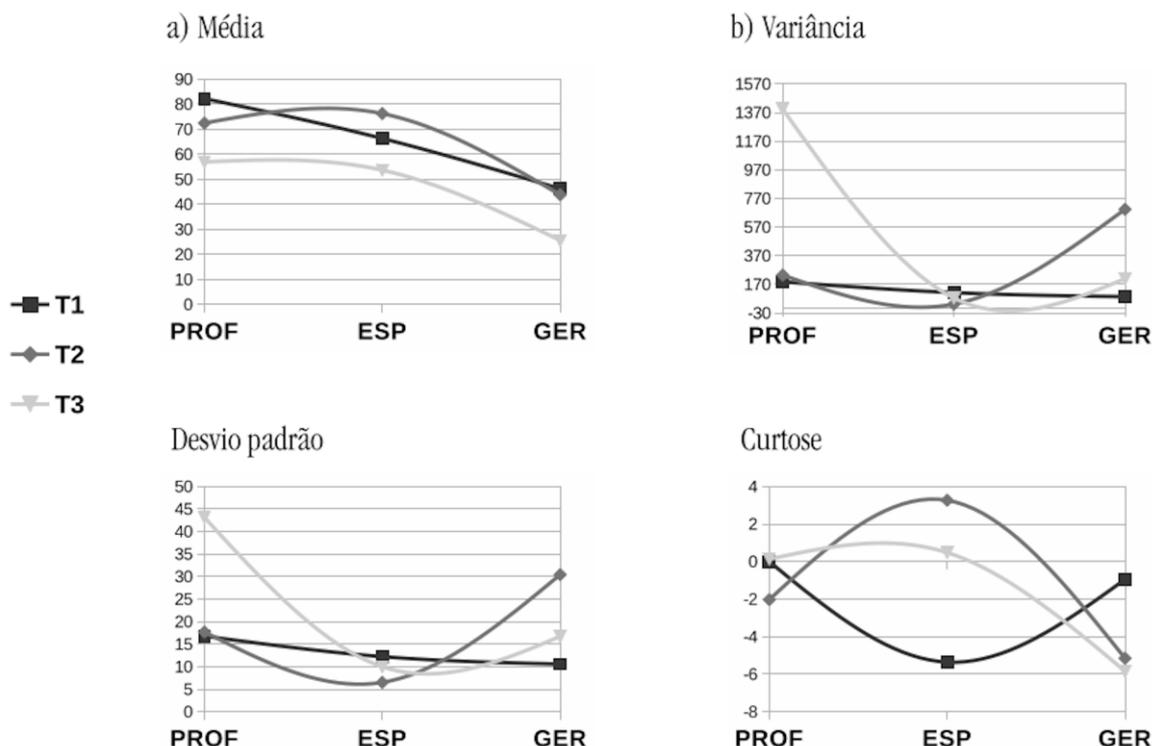
A exploração de dispersão foi realizada a partir das seguintes medidas: Média, Variância, Desvio padrão e Curtose. A Figura 3 indica esses valores absolutos, enquanto a Figura 4 apresenta os respectivos gráficos.

Figura 3: Medidas de dispersão.

(a) Média				(b) Variância			
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
PROF	82,22	72,47	56,94	PROF	187,65	234,97	1394,67
ESP	66,31	76,25	53,67	ESP	112,07	31,69	74,63
GER	46,23	43,80	25,59	GER	83,86	694,41	209,65

(c) Desvio Padrão				(d) Curtose			
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
PROF	16,77	17,70	43,12	PROF	0,00	-2,02	0,13
ESP	12,22	6,50	9,97	ESP	-5,36	3,26	0,48
GER	10,57	30,42	16,71	GER	-0,94	-5,15	-5,84

Figura 4: Gráficos de dispersão.



5.3 EXPLORAÇÃO DE INTER-RELAÇÃO

A exploração de inter-relação foi realizada considerando 2 aspectos:

- Aspecto 1: Comparando as categorias de participantes (PROF, ESP, GER).
- Aspecto 2: Comparando os trechos musicais avaliados (T1, T2, T3)

Sobre cada um desses conjuntos foram aplicadas as medidas de Correlação de Pearson, Covariância e o Teste-F. As Figuras 5 e 6 apresentam esses valores.

Figura 5: Medidas de inter-relação entre categorias de participantes (Aspecto 1).

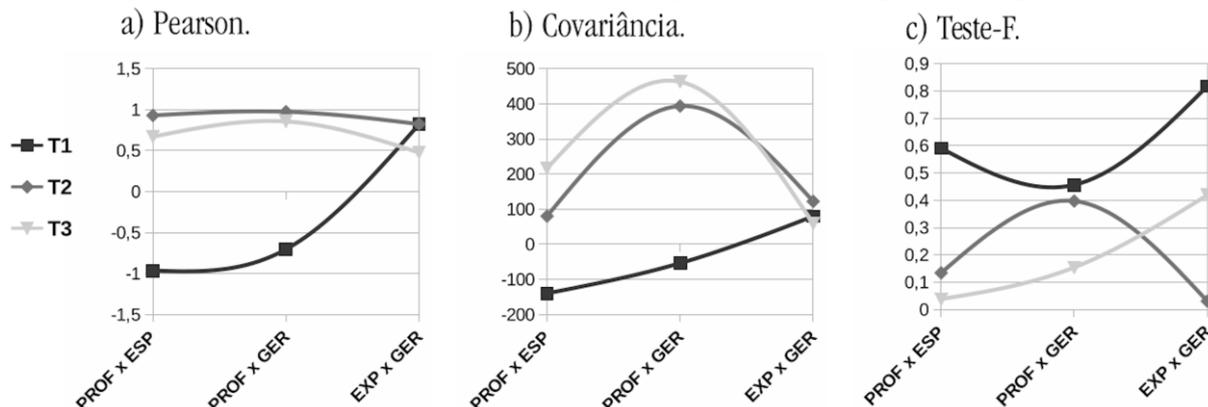
	(a) Correlação de Pearson			(b) Covariância			(c) Teste-F		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
PROF x ESP	-0,96	0,92	0,67	-139,73	80,21	216,18	0,59	0,13	0,03
PROF x GER	-0,70	0,97	0,85	-53,86	393,63	463,09	0,45	0,39	0,39
ESP x GER	0,82	0,82	0,47	79,67	122,17	59,64	0,81	0,03	0,03

Figura 6: Medidas de inter-relação entre os trechos musicais (Aspecto 2).

	(a) Correlação de Pearson			(b) Covariância			(c) Teste-F		
	PROF	ESP	GER	PROF	ESP	GER	PROF	ESP	GER
T1 x T2	-0,88	0,64	0,95	-114,19	38,31	229,28	1,01	0,32	0,11
T1 x T3	-0,99	0,30	0,91	-279,83	27,77	121,28	0,26	0,74	0,47
T2 x T3	0,96	0,88	0,98	550,80	43,23	377,66	0,17	0,50	0,35

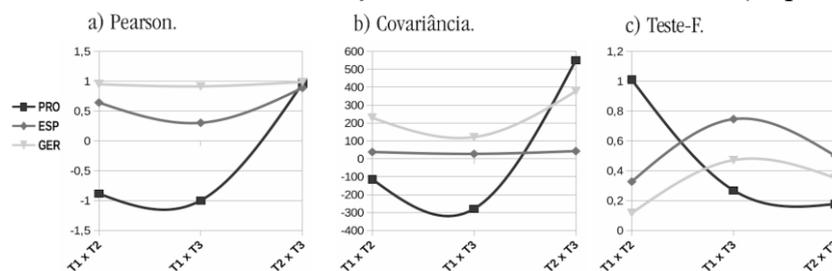
Com relação ao Aspecto 1, a Figura 7 apresenta os gráficos referentes aos valores absolutos.

Figura 7: Gráficos de inter-relação entre categorias de participantes (Aspecto 1).



Quanto ao Aspecto 2, a Figura 8 apresenta os gráficos referentes aos valores absolutos.

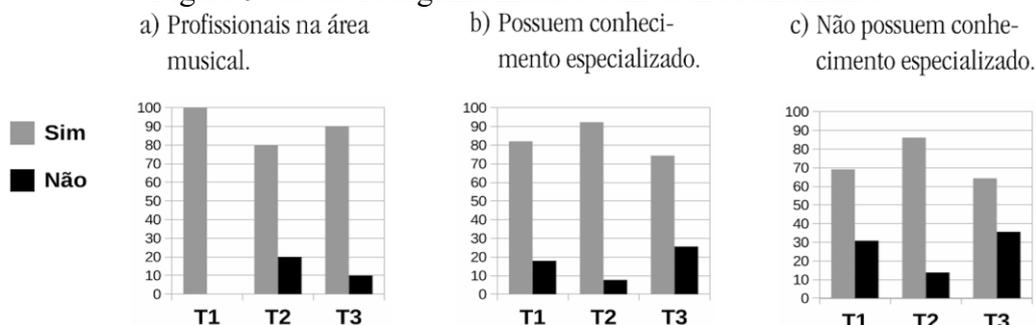
Figura 8: Gráficos de inter-relação entre os trechos musicais (Aspecto 2).



5.4 ASSOCIAÇÃO HUMANA POR ESTILO MUSICAL

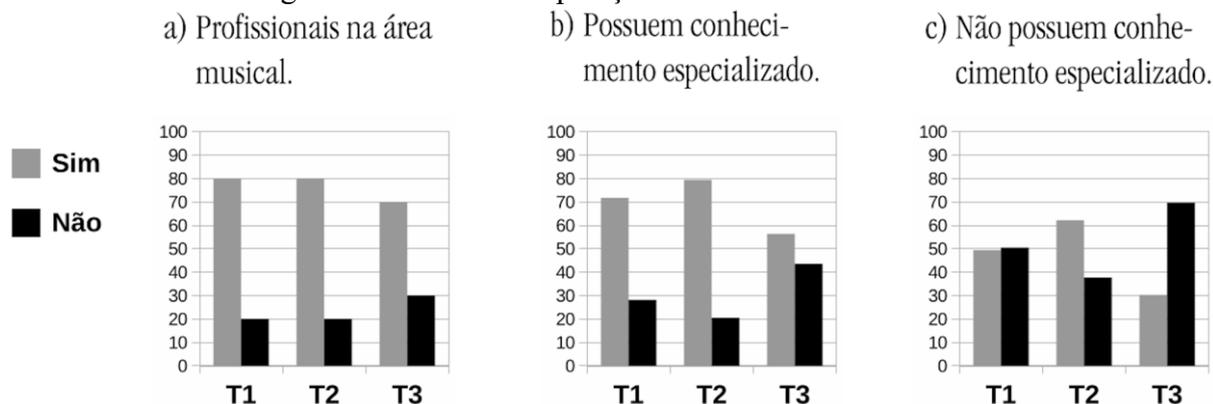
A Figura 9 apresenta participantes que já ouviram trechos semelhantes aos apresentados.

Figura 9: Já ouviu alguma música com estilo semelhante.



A Figura 10 apresenta os participantes que informaram que ouviriam trechos semelhantes aos apresentados.

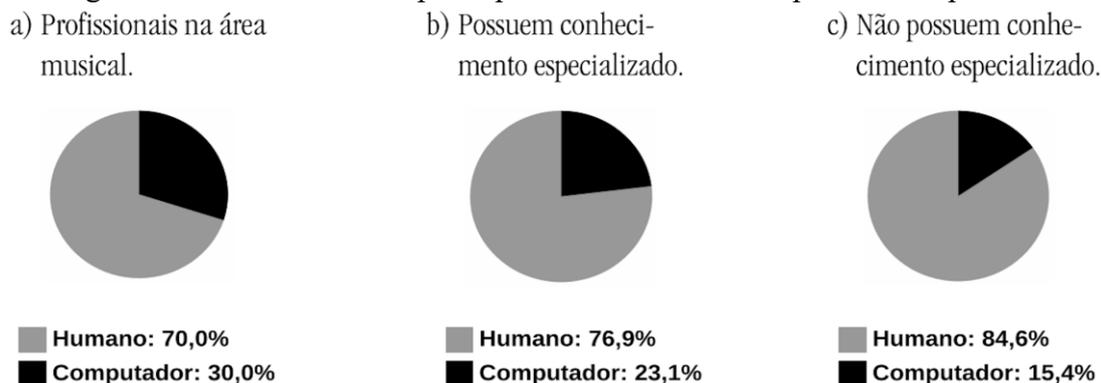
Figura 10: Ouviria composições com estilo semelhante.



5.5 COMPOSIÇÃO HUMANA X COMPUTADOR

A Figura 11 apresenta a pesquisa clássica do teste de Turing, aplicada ao trecho composto pelo computador.

Figura 11: O trecho foi composto por um ser humano ou por um computador.



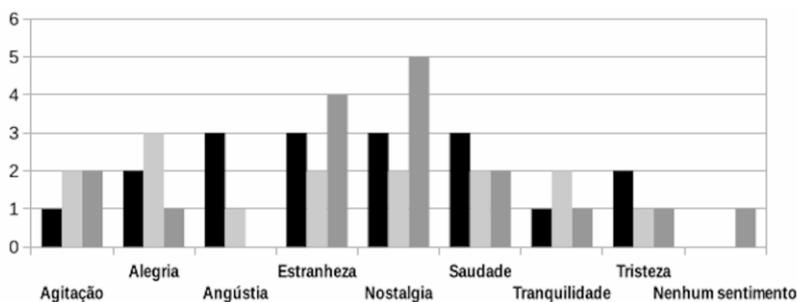
5.6 SENTIMENTOS DESPERTADOS

A Figura 12 apresenta os sentimentos despertados ao ouvir cada trecho musical.

Figura 12: Sentimentos despertados ao ouvir o trecho

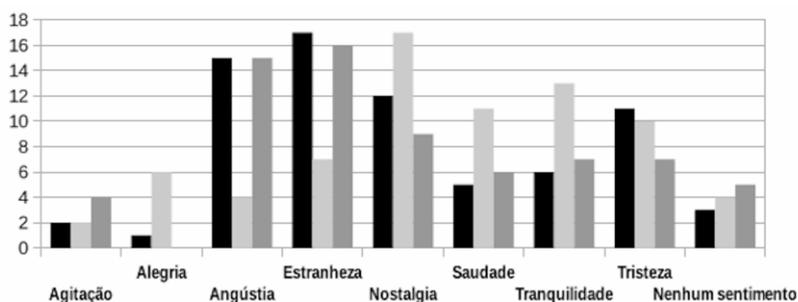
a) Profissionais na área musical.

■ T1 ■ T2 ■ T3



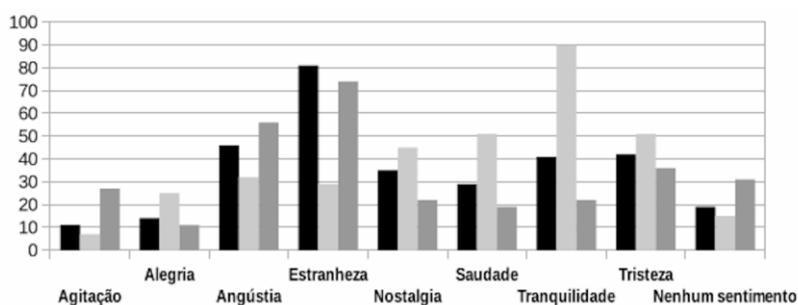
b) Possuem conhecimento especializado.

■ T1 ■ T2 ■ T3



c) Não possuem conhecimento especializado.

■ T1 ■ T2 ■ T3



5.7 ASSOCIAÇÃO POR MEMÓRIA

A Figura 13 apresenta as memórias advindas ao se ouvir os trechos musicais.

Figura 13: Associação por memória.

Uma vez fui para uma ópera e tinha musicas desse estilo	Minhas apresentações
Filmes do cinema mudo	Um passeio de bicicleta
Minha família	Filmes que tem como tema principal a época medieval
A morte de um ente querido	Exercício com instrumento musical
Algo em torno de musicas classicas como as Frédéric Chopin	Do filme "Meu Primeiro Amor"
Quando fiz parte de um grupo de ballet	Europa do séc. XVII
Esse tipo de música me traz a mente a música sacra	Velório do meu avô
Lembro de um filme "O som som coração"	O desfile de sete de setembro
Um pouco semelhante as músicas do renomado Beethoven	Me faz lembrar de momentos tristes da minha vida
O dia do meu casamento	Momentos de tranquilidade
Me lembra o filme Amadeus	Clipes da lindsey stirling
Apresentações do ballet bolchoi	A musica "Suite No. 1 In G Major for Solo Cello"
Trilha sonora chocolate com pimenta	A época em que eu fazia Ballet
Me lembra de um casamento ou uma festa de debutante	Quando comecei a ver Lord of Rings
Minha infância, talvez uma nostalgia	A morte da minha cadela
Como se uma pessoa que eu amei um dia tivesse soltado minha mão	Filmes antigos da Disney
Quando era mais novo e meu pai me mostrava musicas como esta	TV Cultura
Minha primeira apresentação, quando tinha uns 10-11 anos	Me lembra a música "Somewhere Over The Rainbow"
O nascimento de meus 7 filhos	Quando ganhei meu primeiro brinquedo
Me lembra o período em que fazia aulas de violino	Como era nossas vidas
Meus pais	Tempos difíceis que passei
O filme "a lista de shindler"	Pessoas dançando
Uma apresentação de ballet que minha fila apresentou	Memórias da minha infância

6 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Conforme os 4 grupos de participantes que ouviriam trechos semelhantes aos apresentados (Figura 2), observa-se que os menores valores encontram-se nos grupos: G2 - onde não houve associações de semelhança; e G4 - em que os trechos são identificados como compostos por um computador. Desse modo, com relação ao trecho automático, os elevados valores apresentados no teste clássico, apontando a composição como sendo feita por um ser humano, corroboram com a identificação de preferência feita pelos participantes. Isso demonstra uma associação particular para com o trecho automático.

Conforme indicado na Figura 14 os três trechos apresentam um comportamento uniforme com relação aos 4 grupos estratificados, o que também é observado pelos gráficos das Figuras 7 e 8. Pode-se observar que à medida em que o grau de especialidade dos participantes diminui, aumenta a sensação de que o trecho foi composto por um ser humano (Figura 11). Nesse caso, os maiores graus de familiaridade musical indicam uma maior percepção quanto à origem da composição, o que não influencia nos demais aspectos relacionados à contextualização ou “envolvimento” com o trecho automático.

Destaca-se adicionalmente que os valores mais baixos para o teste de Turing clássico, entre as 3 categorias de participantes ficaram na faixa dos 70%. Isso representa uma elevada indicação de que foi produzida uma composição contextualizado pelo sistema computadorizado. Conforme o componente direcionado abrangido pelo teste, os gráficos da Figura 12 mostram que os sentimentos

que se buscaram despertar com os trechos 2 e 3 foram atingidos, considerando os aspectos de “tranquilidade” e “estranheza”.

Com relação aos aspectos envolvendo memórias, associações de preferência e sentimentos, os elementos coletados destacam a identificação dos participantes com a composição automática. Isso aponta na direção de que o propósito fundamental da composição gerada pelo computador foi atingido. Tomando-se como base os resultados apresentados, pode-se concluir que a abordagem utilizada no presente trabalho atingiu satisfatoriamente seu objetivo. A técnica de programação multiparadigma aliada à Programação Lógica Indutiva possibilitou um método efetivo para desenvolvimento do processo de Representação de Conhecimento Musical. Dentre as possibilidades de aplicação dessa abordagem, o sistema Fraseado possibilita a composição musical algorítmica, com a capacidade de produção de trechos que podem ser associados a determinados contextos humanos. Essa capacidade pôde ser avaliada pelo método proposto - o Teste de Turing Expandido.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- [Alvaro et al. 2005] Alvaro, J. L., Miranda, E. R., and Barros, B. (2005). Ev: Multilevel music knowlegde representation and programming. *Proceedings of SBCM, Belo Horizonte, Brazil*.
- [Anders 2007] Anders, T. (2007). *Composing Music by Composing Rules: Design and Usage of a Generic Music Constraint System*. PhD thesis, School of Music & Sonic Arts, Queen's University, Belfast.
- [Ariza 2009] Ariza, C. (2009). The interrogator as critic: The turing test and the evaluation of generative music systems. *Computer Music Journal*, 33(2):48–70.
- [Ariza 2013] Ariza, C. (2013). Ai methods in algorithmic composition: A comprehensive survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 48:513–582.
- [Barbosa J 2015] Barbosa J, McKay C, F. I. (2015). Evaluating automated classification techniques for folk music genres from the brazilian northeast. In *SBCM 2015, Campinas, SP*.
- [Berrar et al. 2013] Berrar, D., Konagaya, A., and Schuster, A. (2013). Turing test considered mostly harmless. *New Generation Computing*, 31(4):241–263.
- [Bishop and Boden 2010] Bishop, M. and Boden, M. A. (2010). The turing test and artistic creativity. *Kybernetes*, 39(3):409–413.
- [Bittencourt 1998] Bittencourt, G. (1998). Representação de conhecimento: da metafísica aos programas. *Cursos JAI*, 98:355.
- [Bown 2015] Bown, O. (2015). Player responses to a live algorithm: Conceptualising computational creativity without recourse to human comparisons. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Creativity*, pages 126–133.
- [Brown 2005] Brown, A. (2005). *Making Music with Java: An Introduction to Computer Music, Java Programming and the JMusic Library*. Lulu. com.
- [Collins 2006] Collins, N. M. (2006). *Towards autonomous agents for live computer music: Realtime machine listening and interactive music systems*. PhD thesis, University of Cambridge.
- [de Souza and Faria 2011] de Souza, R. C. and Faria, R. R. A. (2011). Oito reflexões sobre a criatividade na composição auxiliada por computadores.
- [dos Santos et al. 2008] dos Santos, J. M., da Silva, E. A., da Silva, F. R., and etal (2008). Avaliação de desempenho do impacto de metodologias ágeis no desenvolvimento de software. In *Workshop de Avaliação de desempenho da Fasete*.
- [Felice 2016] Felice, R. C. R. (2016). Referenciais neoclássicos e originalidade nas bachianas brasileiras n. 4 de heitor villa-lobos.
- [Fornari 2015] Fornari, J. E. N. J. (2015). Introduction to the 15º brazilian symposium on computer music. In *SBCM 2015, Campinas, SP, ISSN 2175-6759*, page 5.

[Francis 2015] Francis, J. R. (2015). *Algorithmic Computer Music*. Creative Commons Attribution - John R. Francis.

[Gimenes et al. 2003] Gimenes, M., Santos, A. R. C., and Manzolli, J. (2003). As estruturas verticais na improvisação de Bill Evans. In *Anais do XIV Congresso da ANPPOM, Porto Alegre, RS*.

[Goncalves and Homem 2015] Goncalves, C. B. J. and Homem, M. R. P. (2015). Representação de conhecimento musical e programação lógica indutiva - uma revisão sistemática. In *SBCM 2015, Campinas, SP, ISSN 2175-6759*, pages 138–141.

[Hiraga et al. 2004] Hiraga, R., Bresin, R., Hirata, K., and Katayose, H. (2004). Rencon 2004: Turing test for musical expression. In *Proceedings of the 2004 conference on New interfaces for musical expression*, pages 120–123. National University of Singapore.

[Holden 2005] Holden, S. (2005). *Introduction to knowledge representation and reasoning*. Sean Holden.

[Kosteletos and Georgaki] Kosteletos, G. and Georgaki, A. A Turing test for the singing voice as an anthropological tool: epistemological and technical issues.

[Latham 2004] Latham, A. (2004). *The Oxford dictionary of musical works*. Oxford University Press, USA.

[Lima 1998] Lima, L. V. (1998). *Um Sistema de Composição Musical Dirigido por Estilo*. PhD thesis, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP.

[Maximiliano et al. 2015] Maximiliano, A. P., Schiavoni, F. L., Matos, M. A. L., and Madeiral, D. L. A. (2015). Copista - sistema de OMR para a recuperação de acervo histórico musical. In *SBCM 2015, Campinas, SP, ISSN 2175-6759*, pages 48–59.

[Mello 2003] Mello, M. d. S. F. (2003). Reflexões sobre linguística e cognição musical.

[Miletto et al. 2004] Miletto, E. M., Costalonga, L. L., Flores, L. V., Fritsch, Pimenta, and Vicari, R. M. (2004). Introdução a computação musical. In *CBComp - X Congresso Brasileiro de Computação, 4., Itajaí, 2004. "Anais..."*. Itajaí, SC - Brasil, ISSN 1677-2822, pages 883–902.

[Minsky 1981] Minsky, M. (1981). Music, mind, and meaning. *Computer Music Journal*, pages 28–44.

[Miranda 1995] Miranda, E. R. (1995). *Sound design: an artificial intelligence approach*. PhD thesis, University of Edinburgh.

[Nierhaus 2009] Nierhaus, G. (2009). *Algorithmic composition: paradigms of automated music generation*. Springer Science & Business Media.

[Nogueira 2017] Nogueira, M. J. M. (2017). Paulinho Nogueira - influências na obra bachianinha n. 1.

- [Oliveira 2007] Oliveira, C. E. S. (2007). Utilizando mapas conceituais no ensino de ciências da 8a série. *Universidade Federal de Alagoas, AL*.
- [Pachet et al. 1996] Pachet, F., Ramalho, G., and Carrive, J. (1996). Representing temporal musical objects and reasoning in the muses system. *Journal of New Music Research*, 25(3):253–73.
- [Pearce et al. 2002] Pearce, M., Meredith, D., and Wiggins, G. (2002). Motivations and methodologies for automation of the compositional process. *Musicae Scientiae*, 6(2):119–147.
- [Peter Berrar and Schuster 2014] Peter Berrar, D. and Schuster, A. (2014). Computing machinery and creativity: lessons learned from the turing test. *Kybernetes*, 43(1):82–91.
- [Santana et al. 2003] Santana, H. et al. (2003). Vexpat: An analysis tool for the discovery of musical patterns. In *Proceedings of IX Brazilian Symposium on Computer Music. Campinas, SP*.
- [Serapiao 2004] Serapiao, S. P. (2004). *Ritornello: um Framework para Representação de Conhecimento Musical*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- [Silva 2009] Silva, P. R. G. (2009). Derivation of som-g granular synthesis instruments from audio signals by atomic decomposition. In *Proceedings of XII Brazilian Symposium on Computer Music. Recife, PE*.
- [TEIXEIRA 1997] TEIXEIRA, L. d. M. (1997). *Da representação do conhecimento musical ao esboço conceitual de uma sociedade de agentes em Harmonia*. PhD thesis, Dissertação de Mestrado, COPIN-UFPB.
- [Thywissen 1999] Thywissen, K. (1999). *GeNotator: an environment for exploring the application of evolutionary techniques in computer assisted composition*. Cambridge University Press. New York, NY, USA.
- [Turing 1950] Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236):433–460.
- [Whalley 2005] Whalley, I. (2005). International computer music conference 2004: Papers. In *Proceedings International Computer Music Conference, Miami, ICMA Press. JSTOR*.
- [Wulfhorst et al. 2003] Wulfhorst, R. D. et al. (2003). A multiagent approach for musical interactive systems. In *Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 584–591. ACM.