



Diversidade de abordagens para composição interativa baseada em análise de dados

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO ORAL

Marcos da Silva Sampaio

Universidade Federal da Bahia - marcos@sampaio.me

Guilherme Bertissolo

Universidade Federal da Bahia - guilhermebertissolo@gmail.com

Marina Monroy da Costa Penna

Universidade Federal da Bahia - mamacostapenna@hotmail.com

Lucas Robatto

Universidade Federal da Bahia - robattolucas@gmail.com

Sara Dumont Fadigas

Universidade Federal da Bahia - sara_dumont@hotmail.com

Luã Almeida

Universidade Federal da Bahia - luanpiano@hotmail.com

Alisson G. Silva

Universidade Federal da Bahia - alissong.silva17@gmail.com

Simei Ferreira de Queiroz

Universidade Federal da Bahia - soulluz@yahoo.com.br

Daiana Maciel

Universidade Federal da Bahia - nanaios_4@hotmail.com

Resumo: De acordo com Kugel, dados resultantes da análise de obras musicais possibilitam a identificação de parâmetros composicionais inerentes a um compositor e a elaboração de novas composições com as mesmas características. Desenvolvemos uma pesquisa entre compositores e intérpretes no campo da composição interativa baseada em dados musicais relevantes de um conjunto de obras. Utilizamos uma proposta metodológica baseada no conhecimento das áreas de Música, Estatística e Computação. Os principais resultados são três obras para flauta e eletrônica, as transcrições, algoritmos de composição e o sistema de análise construído para a pesquisa.

Palavras-chave: Musicologia computacional; Composição interativa; Flauta.

Diversity of approaches for interactive composition based on data analysis

Abstract: According to Kugel, relevant data from analysis of musical works enable us to identify compositional parameters of a composer and write new compositions with the same features. We develop a research between composers and performers in the field of interactive composition based on relevant data extracted from a set of works. Our proposed methodology is based on domains of music, statistics, and computing. The main results are three compositions for flute and electronics, the transcriptions, algorithms for composition, and the analysis system constructed for this research.

Keywords: Computational musicology; Interactive composition; Flute.

1. Introdução

O grupo de pesquisa Genos está desenvolvendo um estudo que tem como objetivo a composição de obras interativas para flauta e eletrônica e ferramentas oriundas desse processo. A principal característica desta pesquisa é que o processo de elaboração dessas composições é baseado no uso de dados musicais extraídos de um conjunto de obras da literatura de flauta solo (como intervalos e contornos melódicos) e na interação em tempo real com o intérprete. A metodologia do trabalho é diversificada e envolve etapas das áreas de Composição, Teoria e Análise Musical, Musicologia, Performance, Computação e Estatística.

O conjunto de obras selecionado consiste em cerca de 200 itens disponíveis no *International Music Score Library Project (IMSLP)*¹, entre composições e coleções de obras do período aproximado de 1710 a 1810. Os principais materiais utilizados são o software *PureData*² (PD) e o sistema de análise *MusiAnalysis*³, em desenvolvimento pelo grupo para a pesquisa.

Neste artigo apresentamos os fundamentos, materiais, metodologia, problemas encontrados e resultados parciais deste trabalho.

2. Fundamentos

Esse trabalho está fundamentado basicamente em composição interativa, musicologia computacional e definição de repertório.

2.1. Composição interativa

Essa pesquisa se fundamenta na literatura sobre música interativa, computacional, eletrônica e composição algorítmica⁴. O principal recurso para a criação das ferramentas e obras musicais interativas é o software *PureData*, ambiente de programação gráfica orientada ao objeto (FARNELL, 2010).

2.2. Musicologia computacional

Este projeto está baseado em processos de composição musical relacionados com Musicologia Computacional, especialmente as possibilidades de uso de algoritmos e técnicas de inteligência artificial na elaboração de novas composições com base em dados resultantes de análise prévia de grupos de composições. O estudo desses dados possibilita a identificação de parâmetros composicionais inerentes a determinado compositor e elaborar novas composições com as mesmas características (KUGEL, 1992).

2.3. Definição de repertório

O repertório usado na pesquisa é escolhido de acordo com a adequabilidade para os objetivos do grupo e a importância atual das obras para o meio flautístico. No que se refere aos objetivos da pesquisa, busca-se um corpus de peças grande para uma melhor aplicação de estudos estatísticos preferencialmente com origens ou características similares identificáveis.

Objetiva-se verificar a possibilidade de identificar características estilísticas de um compositor, região, época, gênero ou estilo musical através de análises estatísticas de elementos musicais, como contornos, intervalos, âmbito e ritmo, uma vez que estilo é uma replicação de padrões que resulta de uma série de escolhas feitas dentro de alguns conjuntos de restrições (MEYER, 1989). O entendimento musical por meio de análise de diversos aspectos como funções e inter-relações dos elementos musicais possibilita uma relação de identificação de cada compositor e estilo musical (LARUE, 2001).

No que tange à importância atual do repertório, a ideia é fazer estudo estilístico intraopus, ou em coleções menores de obras, determinando que restrições (*constraints*) foram adotadas pelos compositores, que características se repetem – entendendo melhor o que seriam os padrões presentes nas obras – e os desvios de passagens específicas (MEYER, 1989). Este entendimento é uma grande ajuda para os milhares de intérpretes que executam esta obras.

3. Materiais e Metodologia

Este trabalho está sendo realizado de forma integrada e colaborativa, por uma equipe de 12 membros das áreas de composição, performance, musicologia, matemática e computação musical. A atividade de interação entre a performance e a composição é possível através de variados pré-requisitos que perpassam por atividades das diferentes áreas, assim permitindo a geração do produto musical final.

Esse projeto está baseado nos seguintes materiais:

a) O IMSLP é um projeto colaborativo sem fins lucrativos de biblioteca virtual de partituras musicais de domínio público. É um repositório baseado no *MediaWiki*⁵ composto principalmente de arquivos digitalizados de edições musicais antigas enviados por usuários.

b) O corpus de obras consiste em cerca de 200 itens disponíveis no IMSLP. Estas obras englobam partituras e coleções de obras, e métodos de estudo de flauta. Estão presentes obras de maior tamanho, como as *Fantasias* de G. P. Telemann, e pequenos exercícios de Hotteterre, de até 2 compassos.

Esta coleção foi definida por meio de um filtro automático de busca combinada para os termos *flute* e *for 1 player*, posterior seleção de obras do período de 1710 a 1810 e conferência. A escolha dessa época em particular ocorre devido ao amplo número de obras compostas para flauta solo, número superior ao do período seguinte.

c) O *PureData* é um ambiente gráfico de programação orientada ao objeto que permite a elaboração de programas para a realização de tarefas e processos musicais

interativos. O PD permite inúmeras possibilidades de desdobramento para a música computacional, composição algorítmica e interativa.

Nessa pesquisa, o PD permite a elaboração de processos relacionados aos dados gerados pelo sistema de análise aplicado a um escopo de obras musicais. Esses processos operam em tempo real, baseados, por exemplo, em cadeias de Markov de intervalos adjacentes de uma obra, grupo de obras, compositor, etc.

d) O Sistema de análise está sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa especificamente para este projeto. O *MusiAnalysis* aproveita as funcionalidades do Python e da biblioteca musical *Music21* (CUTHBERT, 2010). O Python é uma linguagem de programação interpretada que dispõe de várias bibliotecas musicais e que oferece a possibilidade de reuso de código.

e) Este trabalho é integrado também por ferramentas de colaboração e gestão, como GitHub – controle de versão, repositório e gerenciamento de tarefas, Copy – compartilhamento de documentos e Mendeley – gerenciamento de bibliografia.

A realização do trabalho ocorre em etapas organizadas hierarquicamente, conforme figura 1. Estas etapas são:

a) Especificação do corpus. O ponto de partida da pesquisa é a definição do *corpus* musical a ser processado, as fontes de partitura (IMSLP) e a ordem na qual as peças serão manipuladas.

b) Transcrição manual das obras. As obras selecionadas são transcritas manualmente para formato XML com o software Finale.

c) Extração automática dos dados. Os dados musicais como contornos melódicos⁶, intervalos, duração de notas e métrica são extraídos do arquivo XML com o sistema de análise *MusiAnalysis*. Estes dados são guardados em listas e matrizes.

d) Análise estatística. As matrizes de dados geradas pelo *MusiAnalysis* são analisadas através de um conjunto de técnicas estatísticas que possibilitam uma filtragem e seleção dos dados em novos grupos menores e de visualização mais simples. Um dos métodos utilizados para filtragem dos dados é a análise de agrupamento (BASSAB, 1990). Essa análise, a priori por agrupamento em árvore, e posteriormente por análise vetorial das matrizes de dados, é utilizada para separação dos dados em grupos de afinidade qualitativa, provendo assim, com dados que se mostram característicos de peças do período estudado.

e) Entrada de dados dos algoritmos de composição. Os algoritmos são desenvolvidos no PD e seu fluxo de entrada ocorre em três instâncias: com arquivos de áudio, pela entrada de sinal de uma flauta (microfone) e a partir dos dados sobre as obras.

A entrada de dados sobre as obras ocorre com importação manual a partir de arquivos csv gerados com o *MusiAnalysis*. Esses dados são transformados em coleções, lidas pelo objeto *cool*, que armazena os dados e permite a elaboração de uma cadeia de Markov de segunda ordem para qualquer parâmetro do *MusiAnalysis*. Essas cadeias permitem o controle de parâmetros dos *patches*, tais como frequência, duração, ataques e transformação de espectros.

f) Elaboração dos algoritmos de composição.

g) Composição de obras musicais. Esta etapa consiste na composição e estreia de três obras para flauta e eletrônica em tempo real. Estas composições são elaboradas a partir das implementações computacionais no PD e de excertos escritos para flauta solo que aplicam o arcabouço conceitual elaborado durante a pesquisa de doutorado de Bertissolo (2013).

h) Performance. A interação do intérprete com o compositor através da performance possibilita alternativas para a composição (produto final). São realizadas participações do intérprete em trabalho integrado nas experiências de composição, durante as quais, por meio do tocar e ouvir excertos, surgem sugestões de novas possibilidades.

4. Problemas

No processo da pesquisa elencamos alguns problemas referentes ao IMSLP, segmentação, análise de conteúdo rítmico e métrico, validade estatística e necessidade de conhecimento interdisciplinar.

4.1. Obras do IMSLP

Uma parte dos arquivos do IMSLP utilizados na pesquisa apresentam alguns problemas com legibilidade de manuscritos, páginas ausentes e informações textuais, como título da obra, autor e instrumentação. A principal razão é o princípio colaborativo da plataforma, com submissão realizada pelos próprios usuários. A solução encontrada para esse problema é a revisão constante pelo musicólogo da equipe.

4.2. Organização dos dados do IMSLP

O IMSLP dispõe de uma API para extração de informações a respeito de seus registros⁷. Estes registros ocorrem em três níveis: compositor, obra e arquivo. O registro de arquivo contém campos para nome do editor, informação sobre editora, *Copyright* e notas adicionais. Em função da natureza do projeto, estes campos são preenchidos pelos colaboradores que enviam partituras.

Alguns dos arquivos do IMSLP consistem em coleções de partituras, como IMSLP98166⁸ (*A Select Collection of Airs, Jigs, Marches and Reels*). Estas coleções englobam obras de compositores diferentes, conhecidos e anônimos. No entanto, esses

compositores não são especificados na base do IMSLP. Neste caso, por exemplo, no campo do nome do compositor consta o termo *Various*. Esta limitação do IMSLP impede o parseamento automático das informações sobre as partituras, demandando preenchimento manual. Esta limitação dificulta o agrupamento de obras por compositor.

4.3. Segmentação

Neste projeto, a segmentação é um ponto crítico, pois a segmentação das composições em unidades menores favorece o estudo de estruturas musicais como contornos melódicos. Com a segmentação musical é possível reconhecer a individualidade de contornos de estruturas como motivos, frases, segmentos de frases, etc.

O processo de segmentação pode ser manual ou automático. A segmentação manual do corpus trabalhado demanda esforço e pode implicar em alta taxa de erro. A segmentação automática ocorre com o uso de algoritmos específicos para este fim, como *Groupers*, *Local Boundary Detection Model (LBDM)*, *Data-Oriented Parsing* (SPEVAK et al, 2002) e *Jensen-Shannon Divergence* (LOPEZ e VOLK, 2012), no entanto, a sua implementação depende de um esforço de programação e de uma ampla revisão do assunto, que foge ao escopo deste trabalho.

4.4. Análise de conteúdo rítmico e métrico

Diversas obras do corpus trabalhado contêm fragmentos de ritmo não definido, como *cadenza*. O Finale nem sempre tem bom suporte para esses fragmentos, embora permita truques para sua elaboração visual. Estes truques, entretanto, não são corretamente processados pela biblioteca *Music21*. O principal problema relativo a esses trechos é o conteúdo de duração, ritmo e métrica. Dessa forma, o estudo desses elementos é inviável para as obras com estes fragmentos.

4.5. Validade estatística

O recorte de obras musicais, restrito à coleção disponível no IMSLP impede generalizações. Este problema ocorre pela necessidade de aleatoriedade na coleta de amostras para construção de estudos com validade estatística.

Parte das obras processadas até o momento são seleções de peças escolhidas pelo colaborador para disponibilização e, dessa forma, não compreende a amostra universal de dados suficiente para se obter a generalização necessária.

4.6. Conhecimento multidisciplinar

A diversidade de conhecimentos necessária a esse projeto demanda da equipe um treinamento em áreas que se afastam da formação comum em música, como Estatística e Computação. Dessa forma, grande parte do tempo do projeto até agora foi usado para

treinamento dos membros em *PureData*. É crucial para este projeto que o operador deste *software* tenha ampla experiência musical. Por isso, preferimos treinar músicos em *PureData* ao invés de programadores em música. Resolvemos este problema com aulas e tutoriais.

5. Resultados parciais

Os principais resultados deste projeto são três obras para flauta e eletrônica, 594 arquivos de obras transcritas, algoritmos de composição e a implementação preliminar do sistema de análise.

5.1. Algoritmos

Realizamos experimentos com o objetivo de buscar aplicações composicionais das ferramentas e possíveis desdobramentos. Em todos eles, utilizamos como dados de entrada uma cadeia de Markov de intervalos adjacentes das *Fantasias* de Telemann e um sinal de áudio captado de uma flauta executada ao vivo por Marina Monroy da Costa Penna.

Cada experimento foi realizado com base em uma estratégia de processamento diferente, tais como ressíntese espectral (figura 2), controle randômico de síntese em forma de onda (figura 3) e síntese cruzada a partir de áudio preexistente (*crossfade* espectral) (figura 4).

A ressíntese é realizada a partir da análise FFT da entrada de áudio e sua posterior reconstrução transformada em vários dos seus aspectos constituintes, permitindo transposições, alterações de duração e manipulações de timbre. O controle randômico de síntese por forma de onda é realizado a partir da cadeia de Markov, que aciona um processo aleatório de ataques de uma síntese por forma de onda. A síntese por forma de onda aplica perfis de formas de onda predeterminados a frequências e envelopes. O *crossfade* espectral permite a manipulação de um espectro de uma amostra de áudio pelos parâmetros de uma outra amostra, também através da análise FFT, controlada pela cadeia de Markov.

5.2. Insights estilo

O objetivo do trabalho é focado na composição musical, porém com base nos dados encontrados até o momento verifica-se a possibilidade de identificar padrões para análise de estilo. Esse processo é proporcionado por meio de ferramentas estatísticas com uso de um *corpus* grande de obras.

5.3. Sistema de análise

O sistema de análise *MusiAnalysis*, utilizado como material, é igualmente um resultado desta pesquisa. Até o presente momento este sistema dispõe de um *parser* para as informações musicológicas do IMSLP e de ferramentas para gerar matrizes de dados para uso no *PureData*. No prosseguir do desenvolvimento, este sistema deverá permitir cruzamento



automático de dados, como contornos de um determinado compositor ou intervalos melódicos de compositores oriundos de um determinado país.

6. Trabalhos futuros

As próximas etapas dessa pesquisa envolvem finalização e estreia das obras para flauta e eletrônica, a elaboração das ferramentas para composição interativa, o aprimoramento das técnicas estatísticas e o desenvolvimento do *MusiAnalysis*.

Referências:

- BASSAB, Wilton; MIAZAKI, Edna; ANDRADE, Dalton. F. “Introdução à análise de agrupamentos”. 9º *Simpósio Brasileiro de Probabilidade e Estatística*, IME/USP, 1990.
- BERTISSOLO, Guilherme. *Composição e capoeira: dinâmicas de compor entre música e movimento*. Tese de doutorado não publicada. Programa de Pós-Graduação em Música da UFBA, 2013.
- COPE, David. *The Algorithmic Composer, Computer music and digital audio series*. Middleton: A-R Editions, 2000.
- CUTHBERT, Michael; Ariza, Christopher. “*Music21* A Toolkit for Computer-Aided Musicology and Symbolic Music Data”. In *Proceedings of International Symposium on Music Information Retrieval*, 2010.
- FARNELL, Andy. *Designing Sound*. Cambridge/MA: MIT Press, 2010
- KUGEL, Peter. “Beyond Computational Musicology”. In *Understanding Music With Ai*. Edited by Mira Balaban, Kernal Ebcioglu e Otto Laske. Cambridge, MA: MIT Press, 1992. p. 30-48.
- LARUE, Jan. “Fundamental Considerations in Style Analysis” *The Journal of Musicology*, Vol 18, nº 2, p. 295-312. University of California Press. 2001.
- LOPEZ, Marcelo; Volk, Anja, “Melodic Segmentation Using the Jensen-Shannon Divergence”, *Machine Learning and Applications (ICMLA), 11th International Conference*, vol. 2, p. 351-356, 12-15 Dec. 2012.
- MEYER, Leonard B. *Style and music: Theory, history, and ideology*. Chicago: University of Chicago Press, 1989.
- SAMPAIO, Marcos da Silva. *A Teoria de Relações de Contornos Musicais: inconsistências, soluções e ferramentas*. Tese de doutorado não publicada. Programa de Pós-Graduação em Música da UFBA, 2012.
- SPEVAK, Christian; THOM, Belinda; Höthker, Karin. “Evaluating melodic segmentation”. *Music and Artificial Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 168-182.
- THOM, Belinda; SPEVAK, Christian; HÖTHKER, Karin. “Melodic segmentation: Evaluating the performance of algorithms and musical experts”. *Proceedings of the International Computer Music Conference*, 2002.

Notas

1. Disponível em <http://imslp.org>
2. Disponível em <http://puredata.info>.
3. Disponível em <https://github.com/GenosResearchGroup/FlautaSolo/>.
4. Vide Composição assistida por computador em <https://ccrma.stanford.edu/~blackrse/algorithm.html>.
5. Disponível em <http://mediawiki.org/>.
6. Vide mais informações sobre processamento de contornos musicais em Sampaio (2012).
7. Estas informações estão disponíveis na página de ajuda de API, restrita aos desenvolvedores e, conforme regras do projeto, não pode ser divulgada. Dessa forma esta informação será omitida deste texto.

8. Disponível em [http://imslp.org/wiki/A_Select_Collection_of_Airs,_Jigs,_Marches_and_Reels_\(Various\)](http://imslp.org/wiki/A_Select_Collection_of_Airs,_Jigs,_Marches_and_Reels_(Various)).

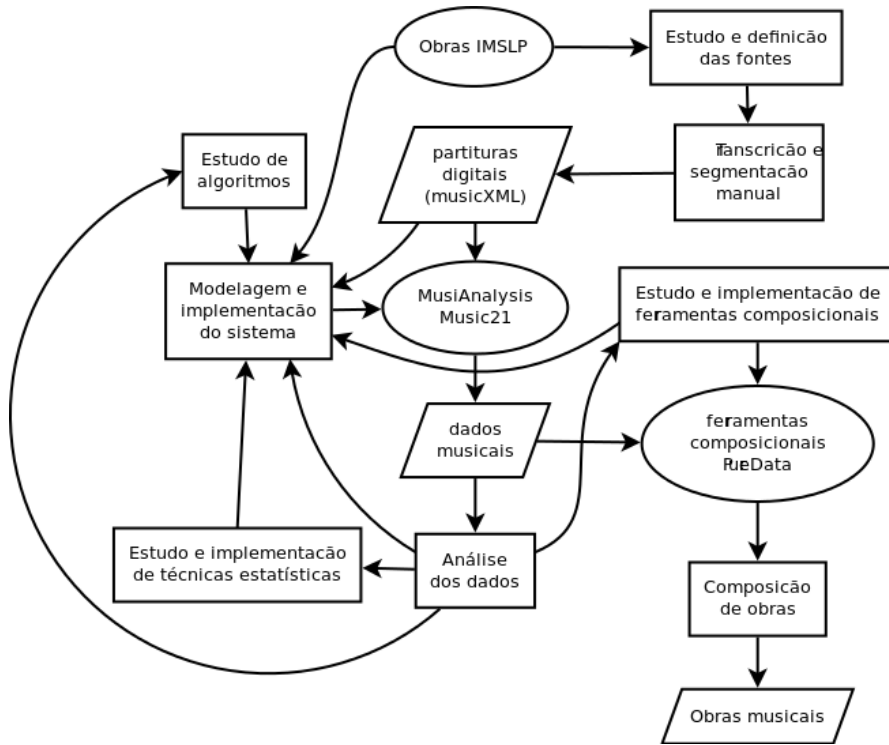
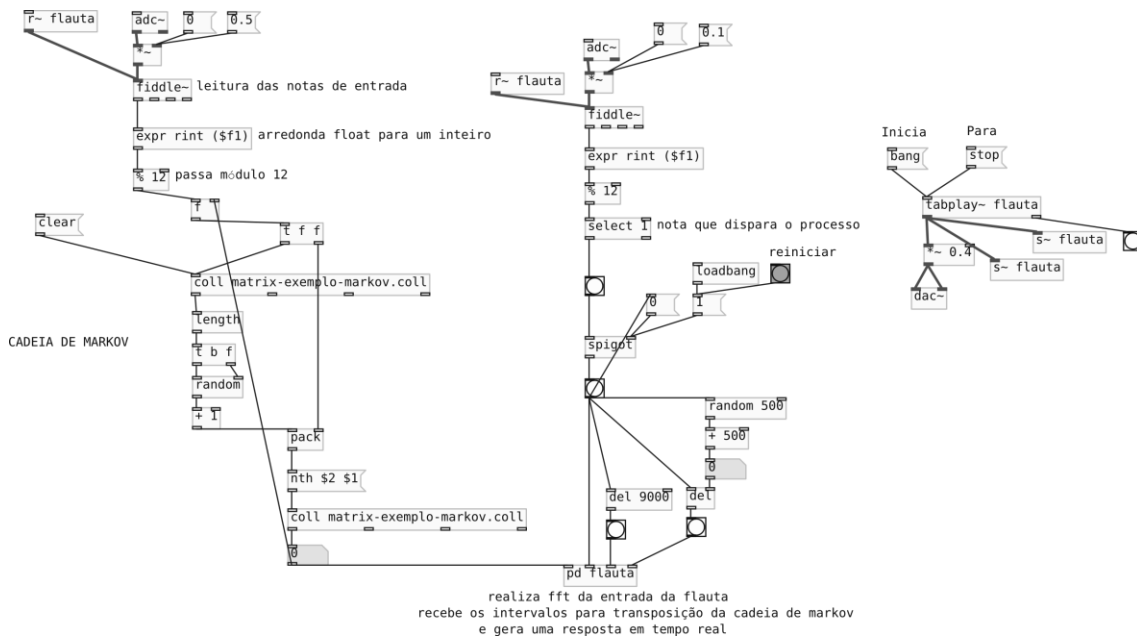
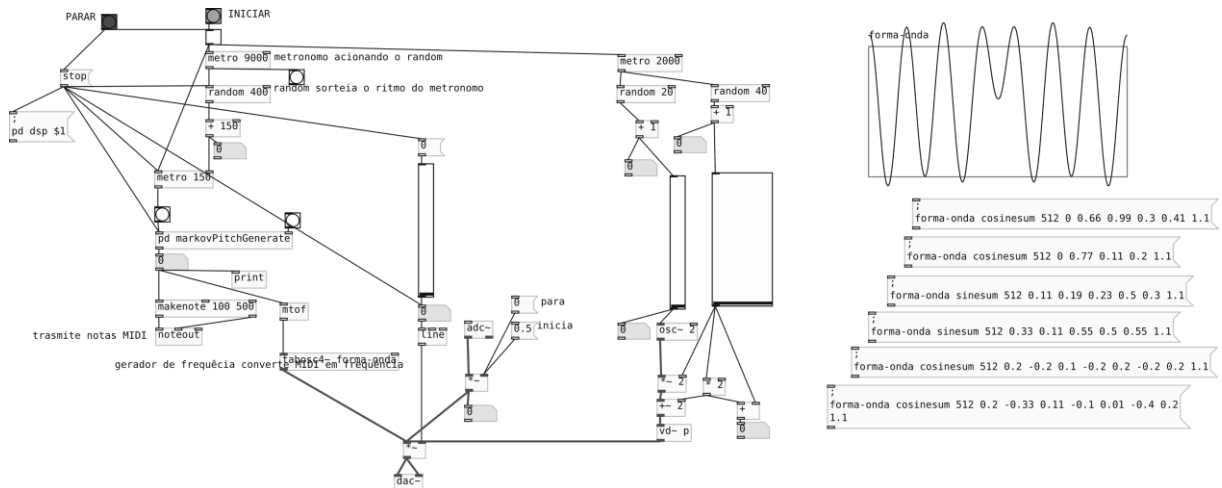


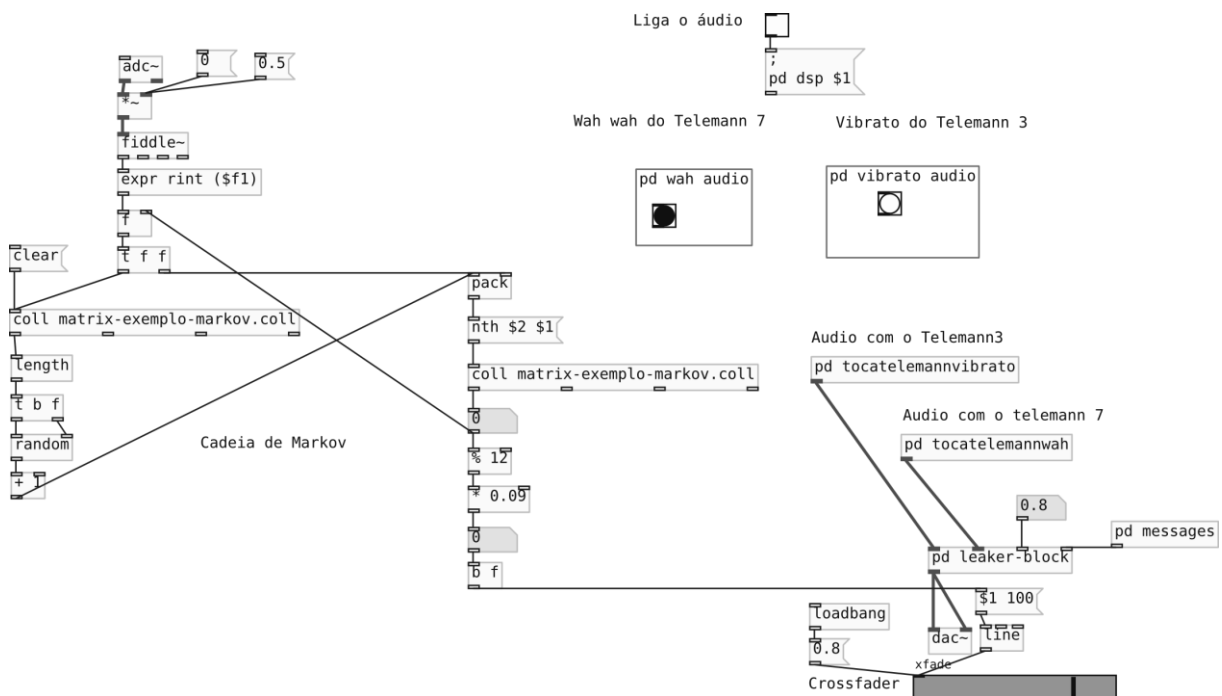
Figura 1: Fluxograma da metodologia de trabalho



Exemplo 2: Experimento 1 - ressumtense espectral



Exemplo 3: Experimento 2 - controle randômico de síntese por forma de onda



Exemplo 4: Experimento 3 - síntese cruzada a partir de áudio preexistente