

ANÁLISE E SÍNTESE DE MÚSICA ATRAVÉS DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS

João António Vilela do Cabeço Rocha Pinto



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2012

Este relatório foi elaborado no âmbito da Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Candidato: João António Vilela do Cabeço Rocha Pinto, nº 1010606, 1010606@isep.ipp.pt

Orientação científica: Cecília Maria do Rio Fernandes Moreira Reis, cmr@isep.ipp.pt

José António Tenreiro Machado, jtm@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial
Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

24 de Outubro de 2012

Ao meu avô António Joaquim, estudante de Coimbra, a quem gostaria de ter conhecido...

“A melhor arma do progresso é a cultura.”

(autor desconhecido)

Agradecimentos

Aos meus pais pela paciência e pela sua presença, em todos os momentos.

Ao meu irmão pela amizade e pela companhia, sobretudo nesta reta final dos nossos cursos.

À Lisa pelo apoio e pela “força” que, à sua maneira, sempre me transmitiu para “seguir em frente”.

Aos meus amigos e companheiros do Grupo de Fados do ISEP, pela amizade e camaradagem e pelos bons momentos e boa música que juntos partilhámos ao longo deste meu percurso académico, demonstrando que nem só de Engenharia se faz um Engenheiro!

Ao João Amaral, pelo feliz reencontro no Mestrado e pela disponibilidade em ajudar-me no que fosse necessário.

Ao Dr. Octávio Sérgio, “mestre” da Guitarra de Coimbra, pela amabilidade da cedência das partituras de alguns fados.

Por fim, mas não por último, aos meus orientadores, Professora Doutora Cecília Reis e Professor Doutor José Tenreiro Machado, pelo apoio, opiniões e sobretudo pela enorme disponibilidade que sempre revelaram para me acompanhar na evolução deste trabalho.

Resumo

Este trabalho, realizado no âmbito da unidade curricular de Tese/Dissertação, procura mostrar de que forma a Computação Evolucionária se pode aplicar no mundo da Música. Este é, de resto, um tema sobejamente aliciante dentro da área da Inteligência Artificial.

Começa-se por apresentar o mundo da Música com uma perspetiva cronológica da sua história, dando especial relevo ao estilo musical do Fado de Coimbra. Abordam-se também os conceitos fundamentais da teoria musical.

Relativamente à Computação Evolucionária, expõem-se os elementos associados aos Algoritmos Evolucionários e apresentam-se os principais modelos, nomeadamente os Algoritmos Genéticos. Ainda no âmbito da Computação Evolucionária, foi elaborado um pequeno estudo do “estado da arte” da aplicação da Computação Evolucionária na Música.

A implementação prática deste trabalho baseia-se numa aplicação – AG Fado – que compõe melodias de Fado de Coimbra, utilizando Algoritmos Genéticos.

O trabalho foi dividido em duas partes principais: a primeira parte consiste na recolha de informações e posterior levantamento de dados estatísticos sobre o género musical escolhido, nomeadamente fados em tonalidade maior e fados em tonalidade menor; a segunda parte consiste no desenvolvimento da aplicação, com a conceção do respetivo algoritmo genético para composição de melodias.

As melodias obtidas através da aplicação desenvolvida são bastante audíveis e boas melodicamente. No entanto, destaca-se o facto de a avaliação ser efetuada por seres humanos o que implica sensibilidades musicais distintas levando a resultados igualmente distintos.

Palavras-Chave

Computação Evolucionária, Música, Música Evolucionária, Algoritmos Genéticos, Fado de Coimbra.

Abstract

This work, developed within the course of Thesis/Dissertation, seeks to show how the Evolutionary Computation can be applied in the world of Music. This is a topic widely attractive in the area of Artificial Intelligence.

It begins by presenting the world of music with a chronological perspective of its history, with special emphasis on the musical style of “Fado de Coimbra”. It also discussed the fundamental concepts of music theory.

Regarding the Evolutionary Computation, this work exposes the elements associated to Evolutionary Algorithms and presents the main models, particularly the Genetic Algorithms. Also within the Evolutionary Computation, it was developed a small study of “state of the art” of the application of Evolutionary Computation in Music.

The practical implementation of this work is based on an application – AG Fado – that composes “Fado de Coimbra” melodies, using Genetic Algorithms.

The work was divided into two main parts: the first part, intended for study and subsequent statistical analysis of the chosen musical genre, particularly major key “fadós” and minor key “fadós”; the second part consists in developing the application, with the conception of the respective genetic algorithm for composing melodies.

The melodies obtained through the developed application are quite audible and good melodically. However, it is emphasized that the evaluation is performed by humans implying distinct musical sensibilities leading likewise to different results.

Keywords

Evolutionary Computation, Music, Evolutionary Music, Genetic Algorithms, “Fado de Coimbra”.

Índice

AGRADECIMENTOS	IX
RESUMO	XI
ABSTRACT	XIII
ÍNDICE	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ACRÓNIMOS	XXIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.3. CALENDARIZAÇÃO	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	2
2. MÚSICA	5
2.1. DEFINIÇÃO.....	5
2.2. ORIGEM	6
2.3. HISTÓRIA DA MÚSICA: UMA PERSPETIVA CRONOLÓGICA	7
2.3.1. <i>Pré-História</i>	7
2.3.2. <i>Antiguidade Clássica</i>	8
2.3.3. <i>Idade Média</i>	10
2.3.4. <i>Renascimento</i>	13
2.3.5. <i>Barroco</i>	14
2.3.6. <i>Classicismo</i>	16
2.3.7. <i>Romantismo</i>	18
2.3.8. <i>Impressionismo</i>	21
2.3.9. <i>Modernismo</i>	22
2.3.10. <i>Música do Século XX</i>	24
2.3.11. <i>Música em Portugal no Século XX</i>	25
2.3.12. <i>O Futuro</i>	27
2.4. O FADO.....	28
2.4.1. <i>Origem</i>	28
2.4.2. <i>Fado de Coimbra: génese</i>	29
2.4.3. <i>Fado de Coimbra: principais momentos</i>	30
2.4.4. <i>Fado de Coimbra: principais características</i>	32

3.	CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA MUSICAL	35
3.1.	ALTURA TONAL	36
3.2.	INTENSIDADE	39
3.3.	DURAÇÃO.....	41
3.4.	TIMBRE	43
3.5.	OUTROS CONCEITOS	44
4.	COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA.....	51
4.1.	O QUE É UM ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO?	52
4.2.	QUESTÕES IMPORTANTES	55
4.3.	ELEMENTOS DE UM ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO.....	56
4.3.1.	<i>Representação</i>	56
4.3.2.	<i>Fitness ou Função de Avaliação</i>	56
4.3.3.	<i>Inicialização</i>	57
4.3.4.	<i>Operadores Genéticos</i>	57
4.3.5.	<i>Cruzamento</i>	58
4.3.6.	<i>Mutação</i>	58
4.3.7.	<i>Critério de Paragem</i>	58
4.3.8.	<i>Definição dos Parâmetros</i>	58
4.3.9.	<i>Análise dos Resultados</i>	59
4.4.	PRINCIPAIS MODELOS DE ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS.....	59
4.4.1.	<i>Estratégias Evolucionárias</i>	59
4.4.2.	<i>Programação Evolucionária</i>	60
4.4.3.	<i>Algoritmos Genéticos</i>	60
4.4.4.	<i>Programação Genética</i>	63
4.5.	ALGUMAS APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA	64
5.	APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA NA MÚSICA	65
5.1.	BREVE HISTÓRIA.....	66
5.2.	TRABALHOS RECENTES NESTE DOMÍNIO.....	66
5.2.1.	<i>Artigos</i>	67
5.2.2.	<i>Livros</i>	68
5.2.3.	<i>Conferências</i>	68
5.2.4.	<i>Softwares</i>	69
5.3.	VOX POPULI: ALGUNS ASPETOS FUNCIONAIS	71
6.	ESTRUTURA E DESCRIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO	75
6.1.	RECURSOS UTILIZADOS	75
6.1.1.	<i>Linguagem de Programação Java</i>	75
6.1.2.	<i>API Java JFugue</i>	76
6.1.3.	<i>Software utilizado</i>	79
6.2.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	82
6.3.	PRIMEIRA PARTE	82
6.3.1.	<i>Estrutura e Modo de funcionamento</i>	83

6.3.2.	<i>Desenvolvimento da aplicação.....</i>	83
6.3.3.	<i>Resultados obtidos</i>	85
6.4.	SEGUNDA PARTE	88
6.4.1.	<i>Características do Algoritmo Genético implementado</i>	88
6.4.2.	<i>Estrutura e Lógica do programa AG Fado.....</i>	89
6.4.3.	<i>Estrutura intrínseca do Algoritmo Genético</i>	90
6.4.4.	<i>Modo de funcionamento e Resultados.....</i>	92
7.	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	101
	ANEXO A. MÚSICAS SELECIONADAS PARA ANÁLISE	105
	ANEXO B. TABELAS COM RESULTADOS DA PRIMEIRA PARTE	107

Índice de Figuras

Figura 1	Pintura pré-histórica representa a dança e a música. [43]	7
Figura 2	Pintura num vaso da Grécia Antiga mostra uma aula de música (c. 510 A.C.) [44].....	9
Figura 3	Cristão e muçulmano a tocar alaúde [45].....	10
Figura 4	J. S. Bach [46]	14
Figura 5	Wolfgang Amadeus Mozart [47].....	17
Figura 6	Ludwig van Beethoven [48].....	18
Figura 7	Frédéric Chopin [49]	20
Figura 8	Franz Liszt [50].....	20
Figura 9	Claude Debussy [51]	21
Figura 10	Igor Stravinsky [52]	22
Figura 11	George Gershwin [53].....	22
Figura 12	Arnold Schoenberg [54].....	23
Figura 13	Elvis Presley, Michael Jackson, Metallica [55].....	24
Figura 14	Amália Rodrigues e António Victorino d’Almeida [56][57]	26
Figura 15	Painel “O Fado”, de José Malhoa [58].....	29
Figura 16	Ilustração alusiva ao Fado de Coimbra [59].....	29
Figura 17	Monumentais Serenatas da Queima das Fitas de Coimbra e do Porto [60]	30
Figura 18	António Menano e Edmundo de Bettencourt, o poeta cantor [41].....	31
Figura 19	Zeca Afonso e Carlos Paredes.....	31
Figura 20	Luiz Goes, um dos nomes maiores do Fado de Coimbra	32
Figura 21	Um grupo de Fados de Coimbra.....	32
Figura 22	Representação de uma onda de som sinusoidal.....	35
Figura 23	Representação de ondas com diferentes frequências.....	37
Figura 24	Claves de Sol e de Fá e respetiva representação das notas na pauta	37
Figura 25	Representação das alturas tonais, pela posição das notas na pauta	38
Figura 26	Representação de uma mesma nota com diferentes amplitudes.....	39
Figura 27	Representação de diferentes gradações dinâmicas numa partitura.....	41
Figura 28	Sinais de <i>Crescendo</i> e <i>Decrescendo</i>	41
Figura 29	Relação entre as durações das notas.....	42
Figura 30	Formatos de onda de alguns instrumentos	43
Figura 31	Exemplo de melodia de “Parabéns a Você”	45
Figura 32	Exemplos de Fórmulas de Compasso.....	49
Figura 33	Esquema de um Algoritmo Genético	54
Figura 34	Operadores Genéticos	57

Figura 35	Operadores de recombinação e mutação mais utilizados nos AG.....	63
Figura 36	<i>Site</i> oficial da GECCO 2012.....	69
Figura 37	FractMus 2000.....	70
Figura 38	Interface do <i>Vox Populi</i> [26]	71
Figura 39	Bloco com quatro palavras de 7 bits.....	71
Figura 40	Representação gráfica do funcionamento do <i>Vox Populi</i> [26]	72
Figura 41	Espectro do Dó central (piano) e espectro do Mi (piano), respetivamente [26].....	73
Figura 42	Intersecção dos espectros anteriores [26]	73
Figura 43	Controlo de parâmetros pelo utilizador	73
Figura 44	Código necessário para reproduzir a nota Dó central.....	77
Figura 45	Código necessário para reproduzir a nota Dó central, com o <i>JFugue</i>	77
Figura 46	Representação das notas desde a oitava 3 até à 6.....	78
Figura 47	Exemplos de <i>MusicStrings</i>	79
Figura 48	Ambiente de trabalho do <i>NetBeans 7.1.1</i>	80
Figura 49	Ambiente de trabalho do <i>Finale 2011</i>	81
Figura 50	<i>Software</i> auxiliar utilizado (<i>Excel</i> , <i>GIMP</i> e <i>Edraw</i>).....	82
Figura 51	Diagrama do funcionamento da aplicação da primeira etapa.....	83
Figura 52	Excerto de código com notação musical <i>JFugue</i>	83
Figura 53	Exemplo de código representando trechos musicais, com <i>JFugue</i>	83
Figura 54	<i>Strings</i> contendo as <i>MusicStrings</i> criadas anteriormente	84
Figura 55	Excerto do código responsável pela contagem das notas	84
Figura 56	Fragmento do <i>output</i> da aplicação da primeira etapa	85
Figura 57	Percentagem da utilização de cada nota: músicas em Lá menor – primeira etapa.....	85
Figura 58	Percentagem da utilização de cada nota: músicas em Ré maior – primeira etapa.....	86
Figura 59	Desenho de um cromossoma de uma nota (3 genes).....	88
Figura 60	Esquema de um cromossoma de 30 notas (90 genes)	88
Figura 61	Fluxograma com a estrutura da aplicação AG Fado.....	90
Figura 62	Interface inicial da aplicação AG Fado	93
Figura 63	Interface de avaliação das melodias	93
Figura 64	Melodias da população inicial	94
Figura 65	Filhos resultantes dos cruzamentos entre indivíduos da população inicial	94
Figura 66	Interface de avaliação dos filhos	95
Figura 67	Janela com resultado final do AG	96
Figura 68	Gráfico da evolução do valor médio de <i>fitness</i> da população do AG.....	96

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do trabalho	3
Tabela 2	Notações para representação das notas e respectivas frequências na oitava central	39
Tabela 3	Gradações dinâmicas mais frequentes.....	40
Tabela 4	Duração das notas musicais.....	42
Tabela 5	Intervalos de notas mais comuns.....	46
Tabela 6	Exemplos de graus de intervalos.....	46
Tabela 7	Quatro tipos básicos de tríades.....	48
Tabela 8	Durações possíveis para uma nota.....	78
Tabela 9	Valores numéricos MIDI das notas musicais.....	78
Tabela 10	Descrição da funcionalidade das classes.....	89

Acrónimos

- AE – Algoritmo Evolucionário
- AG – Algoritmo Genético
- API – *Application Programming Interface*
- ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*
- CE – Computação Evolucionária
- IA – Inteligência Artificial
- IDE – *Integrated Development Environment*
- JVM – *Java Virtual Machine*
- ME – Música Evolucionária
- MIDI – *Musical Instrument Digital Interface*
- SDK – *Software Development Kit*

1. INTRODUÇÃO

Este relatório pretende descrever a execução do trabalho realizado, no âmbito da unidade curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Trata-se de uma abordagem à temática da Computação Evolucionária na Música, através da análise de algumas obras de um género musical específico, recorrendo numa fase subsequente, à síntese de melodias musicais simples, utilizando algoritmos genéticos.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho surgiu da proposta lançada pela Professora Doutora Cecília Reis aos alunos de Tese/Dissertação e que deu nome a este projeto. Dado o interesse do tema, bem como as afinidades do autor com esta arte performativa (a Música), o repto foi desde logo aceite. A vontade de aprofundar os conhecimentos adquiridos na unidade curricular de Algoritmos Genéticos foi também preponderante na adoção deste desafio.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos primordiais a descrição das aplicações da Computação Evolucionária na arte performativa da Música, através de um levantamento bibliográfico de exemplos práticos, trabalhos desenvolvidos na área, apresentação de *softwares*, entre

outros aspetos relevantes e, numa segunda fase, levar a cabo o estudo de algumas composições, desenvolvendo de seguida uma síntese de alguns trechos musicais recorrendo a metodologias evolutivas, nomeadamente aos algoritmos genéticos.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

Sendo a Análise e Síntese de Música através de Sistemas Computacionais o propósito deste trabalho, a sua prossecução conduziu à calendarização apresentada na Tabela 1 (abaixo). Esta inclui um conjunto de etapas, como por exemplo: o estudo e revisão dos conceitos básicos de Algoritmos Genéticos, estudo e revisão dos conhecimentos sobre Teoria Musical, a pesquisa de composições musicais e recolha das partituras existentes, o estudo e aprendizagem da linguagem de programação *Java*, o desenvolvimento do programa para recolha de dados estatísticos das obras musicais selecionadas, o desenvolvimento do Algoritmo Genético, entre outras.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Após este primeiro capítulo de introdução ao trabalho, sua contextualização, objetivos e calendarização, segue-se um segundo capítulo sobre a Música, com uma primeira abordagem à sua História, sob uma perspetiva cronológica, desde os primórdios da Humanidade até aos nossos dias.

No capítulo três é elaborada uma descrição sobre os principais conceitos básicos da Teoria Musical, como altura tonal, intensidade, duração, timbre, entre outros.

De seguida, no capítulo quatro é abordada a temática da Computação Evolucionária, sua terminologia, principais modelos de algoritmos evolucionários, entre outros tópicos.

O quinto capítulo descreve a relação entre a Computação Evolucionária e a Música: algumas das aplicações práticas, *softwares* existentes, trabalhos e estudos recentes desenvolvidos neste domínio – em suma, o “estado da arte” nesta área de intervenção da Computação Evolucionária.

No capítulo seis é apresentada a estrutura do trabalho desenvolvido e a sua descrição, dividida em duas partes principais: uma primeira parte destinada ao estudo e posterior análise estatística de um género musical – o Fado de Coimbra – e uma segunda parte com a

criação de uma aplicação para composição de melodias através de Algoritmos Genéticos e respetiva explicação do seu funcionamento.

Por fim, no sétimo e último capítulo são reunidas as principais conclusões inerentes ao trabalho e ao próprio tema, são tecidas algumas considerações finais e perspetivados futuros desenvolvimentos.

Tabela 1 Calendarização do trabalho

ID	Nome da etapa	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.
1	Estudo/revisão dos conceitos básicos de Algoritmos Genéticos	■	■							
2	Pesquisa de trabalhos desenvolvidos na área da Computação Evolucionária na Música		■							
3	Estudo/revisão de conhecimentos teóricos sobre Formação Musical e sobre as características do Fado			■						
4	Pesquisa de composições musicais e recolha das respetivas partituras existentes			■	■					
5	Transcrição de algumas obras musicais para partitura			■	■					
6	Estudo e aprendizagem da linguagem de programação <i>Java</i>				■	■	■	■	■	
7	Desenvolvimento do programa <i>Java</i> para recolha de dados estatísticos das obras selecionadas					■	■	■	■	
8	Transcrição dos resultados e respetiva análise							■	■	
9	Criação e desenvolvimento do interface gráfico em <i>Java</i> para a segunda fase do projeto								■	
10	Desenvolvimento do código <i>Java</i> para execução de melodias MIDI								■	
11	Criação e transcrição para partitura da população inicial								■	
12	Desenvolvimento do Algoritmo Genético								■	
13	Fase de testes e correções								■	■
14	Elaboração do relatório final								■	■

2. MÚSICA

2.1. DEFINIÇÃO

A Música (do grego *mousiké*, «relativo às musas», pelo latim *musica-*, «música; poesia») é uma forma de arte que consiste em combinar harmoniosamente vários sons (e silêncios), frequentemente de acordo com regras definidas, pressupondo uma pré-organização temporal. [1]

Muitas pessoas podem afirmar que alguns sons não são Música e sim barulho, o que pode levar a pensar que barulho é o contrário de Música.

Contudo, é difícil delimitar exatamente quais sons são barulho e quais são Música, pois estes são conceitos individuais e que dependem das experiências culturais de cada ouvinte.

Pode também ser normal imaginar que alguns ouvintes não entendem muito bem de Música, mas sabem quais os sons de que gostam, sendo que podem na verdade estar apenas a expressar que apreciam o que já reconhecem à partida como sendo Música.

Como se pode verificar, o significado de Música é um domínio muito subjetivo e não existe definição de boas músicas que satisfaça a todas as pessoas. [2]

No dicionário de *Oxford* pode ser encontrada a seguinte definição:

“**Music**, noun,

1. *The art or science of combining vocal or instrumental sounds (or both) to produce beauty of form, harmony, and expression of emotion: « he devoted his life to music. »*

- *the vocal or instrumental sound produced in this way: « couples were dancing to the music – baroque music. »*
- *a sound perceived as pleasingly harmonious: « the background music of softly lapping water. »*

2. *The written or printed signs representing such sound: « Tony learned to read music. »*

- *the score or scores of a musical composition or compositions: « the music was open on a stand. »”*

Da primeira definição de Música, infere-se que esta é considerada mais do que apenas sons organizados no tempo mas também expressão de emoção e que deve ter beleza na sua forma, ou seja, estes sons devem ser organizados de uma forma harmoniosa para o ouvinte. A maneira como estes sons podem ser organizados é subjetiva e sons da natureza, como pássaros ou cascatas, podem ou não ser considerados Música, de acordo com as preferências de cada ouvinte. Assim, de um certo ponto de vista, Música pode ser qualquer coisa desde que as pessoas a reconheçam como tal, enquanto o barulho é reconhecido como perturbador ou desagradável. [2]

Resumindo, a Música é considerada por diferentes autores como uma prática cultural e humana. Atualmente pode afirmar-se com clareza que não se conhece nenhuma civilização ou cultura que não possua pelo menos uma manifestação musical própria. A Música pode ser considerada uma forma de arte, sendo esse o seu principal propósito existencial, embora esta nem sempre seja feita com esse intuito. [3]

2.2. ORIGEM

Não se conhece ao certo onde e como surgiu a Música. Segundo os mitos dos povos, a Música é de origem divina. A ideia ocidental da música remonta à Antiguidade Grega, bem como a outras culturas antigas avançadas: Mesopotâmia, Egito, Império Romano entre outras. [4]

Há no entanto evidências de que a música é conhecida e praticada desde a pré-história. Terá provavelmente sido a observação dos sons da natureza que tenha despertado no Homem, da audição, a necessidade ou vontade de realizar uma atividade baseada na organização de sons. Embora não haja nenhum critério científico que permita estabelecer a sua evolução de forma precisa, a história da Música confunde-se com a própria história do desenvolvimento da inteligência e da cultura humanas. [5]

2.3. HISTÓRIA DA MÚSICA: UMA PERSPETIVA CRONOLÓGICA

2.3.1. PRÉ-HISTÓRIA

Tal como referido anteriormente, há evidências da utilização da Música desde os tempos da Pré-História. Contudo, é apenas através de estudos arqueológicos que se pode ficar com uma noção do desenvolvimento da arte da Música nos primórdios da Humanidade (Figura 1). A arte rupestre encontrada em cavernas deixa transparecer algum desse desenvolvimento ao expor figuras que parecem dançar, cantar, ou tocar instrumentos, sendo que pedaços do que aparentam ser instrumentos musicais oferecem novas pistas para complementar esse cenário. Ainda assim, não pode ser definida com precisão toda a cronologia do desenvolvimento musical dessa época. É impossível, por exemplo, determinar se a música vocal apareceu antes ou depois das batidas com bastões ou das percussões corporais. Pode, no entanto especular-se, a partir dos progressos cognitivos ou da capacidade de manusear materiais, sobre algumas das possíveis evoluções da Música nesse tempo. [3]

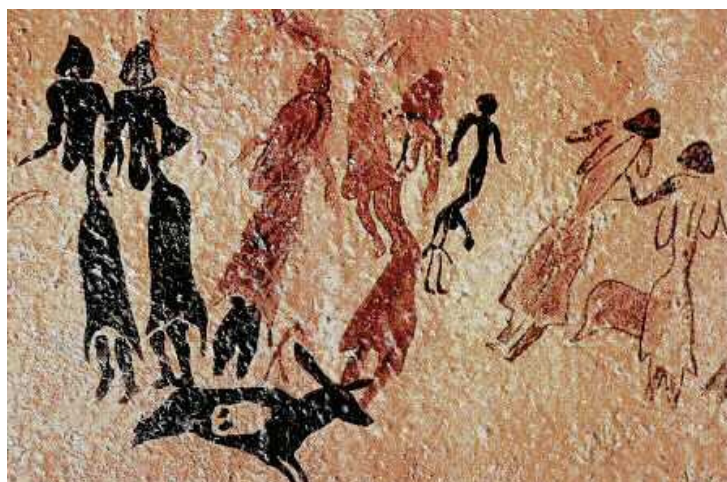


Figura 1 Pintura pré-histórica representa a dança e a música. [43]

Segundo o autor de “História Universal da Música” é proposta a seguinte sequência aproximada de eventos:

- **Antropoides (período Terciário)** – percussão corporal batidas com bastões;
- **Hominídeos (Paleolítico Inferior)** – gritos e imitação dos sons da natureza;
- **Paleolítico Médio** – controlo da altura, intensidade e timbre da voz (simultaneamente com as demais funções cognitivas), culminando com o aparecimento do *Homo Sapiens*, entre 70.000 a 50.000 anos atrás;
- **Cerca de 40.000 anos atrás** – Invenção dos primeiros instrumentos musicais para imitar os sons da natureza e desenvolvimento da linguagem oral e do canto;
- **Entre 40.000 anos atrás e 9.000 A.C., aproximadamente** – Criação de instrumentos mais aperfeiçoados, feitos de pedra, ossos e madeira: xilofones, flautas, tambores de tronco, etc. É desta época um dos primeiros indícios da arte musical, encontrado na gruta de *Trois Frères*, em *Ariège*, França. Uma pintura, datada como sendo de 10.000 A.C., mostra um tocador de flauta ou arco musical;
- **Neolítico (a partir de 9.000 A.C.)** – Criação de membranofones e cordofones, depois do desenvolvimento de ferramentas e do aparecimento dos primeiros instrumentos com capacidade para afinação;
- **Cerca de 5.000 A.C.** – Conceção de instrumentos de cobre e bronze com capacidade para execução mais sofisticada, fruto do desenvolvimento da arte de extrair e trabalhar os metais. O progressivo abandono do estilo de vida nómada e o estabelecimento de povoados, com o inerente desenvolvimento de técnicas agrícolas mais produtivas e de uma economia baseada na divisão do trabalho, permitiu que uma parte da população se desligasse da produção e/ou coleta de alimentos. Isto levou, subsequentemente, ao advento das primeiras civilizações, com sistemas musicais próprios. [6]

2.3.2. ANTIGUIDADE CLÁSSICA

Na antiguidade clássica foi, sobretudo, a música grega que estabeleceu as bases para todo o sistema de modos e escalas utilizado na música ocidental. [3]

A cultura da Grécia Antiga contribuiu em larga medida para a origem da nossa civilização ocidental. Aí, como em toda a parte, fazia-se música para as necessidades da religião, da magia, da medicina, da guerra, mas também para o prazer pessoal e dos outros.

As múltiplas reproduções em ânforas e a documentação literária na *Iliada* e na *Odisseia* de Homero (séc. VIII A.C.) dão-nos uma ideia mais exata da Música. Para os gregos a Música

aparece ligada às figuras de Apolo, Dionísio, das nove musas... A palavra Música, *Musike* para os gregos, tinha um sentido mais amplo, simbolizando a união de diferentes artes, como a poesia, a dança, o canto e a música instrumental. Predominava o canto com acompanhamento de instrumentos de corda, *Kitharodia* (de cítara ou lira, associada a Apolo), executado pelos próprios heróis homéricos ou por cantores profissionais. Segundo a lenda, em 750 A.C., e graças ao frígio Olimpo, surge o canto com o acompanhamento do aulos (instrumento de sopro, associado a Dionísio), aulodia. Desde o séc. VI A.C., a lira e o aulos eram igualmente utilizados como instrumentos solistas (Figura 2).



Figura 2 Pintura num vaso da Grécia Antiga mostra uma aula de música (c. 510 A.C.) [44]

A música grega aparenta ter sido fundamentalmente monódica. Os instrumentos permitiam muito provavelmente ornamentar a música vocal, ou, no caso de se tratar de um conjunto de instrumentos, uns realizariam ornamentos sobre aquilo que os outros tocavam (heterofonia). Grande parte da música vocal, principalmente na recitação dos poemas heroicos ou nos coros das tragédias, teria, tudo indica, um carácter de cantilena; a melodia e o ritmo estavam profundamente associados à melodia e ao ritmo da poesia e à dança com que os coros, na tragédia e nos cultos religiosos, acompanhavam o seu canto. A música anotava-se mediante uma notação alfabética.

Da música da Antiga Roma ainda se sabe menos. Apesar da arte musical grega ter deixado escassos registos, perdura em diversas descrições e num sistema bastante bem desenvolvido. Da música romana e suas características permanece-se em grande parte, no plano das conjeturas. [3]

Os romanos não eram muito originais no que diz respeito à arte, tendo importado a maior parte das técnicas e referências estilísticas da Grécia, como se pode testemunhar pelos

exemplares remanescentes de Escultura e Pintura. Embora não seja possível afirmar com certeza, é bastante provável que isso se tenha repetido na Música. [3]

A música de Roma não passou assim, entre os primeiros romanos, de uma imitação decadente da grande música helénica. Estes limitaram-se a adotar a prática e a teoria gregas, não mantendo pura no entanto, a tradição grega. A música desempenhava um papel importante no culto, na sociedade, nos banquetes, na dança, nas representações dramáticas, no trabalho e no exército. Na época imperial (27 A.C. – 476 D.C.) predominava uma música expressamente de entretenimento, destinada a grandes exibições de luta e aos espetáculos que aconteciam nos grandes anfiteatros. Séneca refere coros com muitas vozes e de conjuntos de instrumentos de metal, fruto do Império Romano ser uma grande nação militar. [4]

2.3.3. IDADE MÉDIA

Após a Antiguidade Clássica, os estilos musicais expandiram-se de tal forma, que se torna praticamente impossível definir universalmente a Música observando-se apenas uma localização específica, sendo necessária uma subdivisão no estudo da história da Música por continentes e nações. Assim, neste capítulo analisa-se a Música ocidental, nomeadamente a Europeia.



Figura 3 Cristão e muçulmano a tocar alaúde [45]

A história da Música medieval (termo dado à música típica do período da Idade Média durante a História da Música Ocidental Europeia) tem início com a queda do Império Romano e terminou por volta do séc. XV. (Figura 3) [3]

A rápida expansão do cristianismo obrigou o Vaticano a um maior rigor, que assim unificou a prática litúrgica romana no século VI. O papa Gregório I (São Gregório, o Magno) oficializou o canto gregoriano, através de uma reforma litúrgica, que se tornou modelo para a Europa católica. A notação musical sofre transformações e os neumas¹ são substituídos pelo sistema de notação com linhas, sobretudo a partir do trabalho de Guido D'Arezzo (992-1050) que foi o responsável pelo estabelecimento desse sistema de notação musical que deu origem à atual pauta musical. Foi ele, que no século XI designou as notas musicais como são conhecidas atualmente, através do texto de um hino a São João Batista (originalmente em latim), onde cada estrofe inicia com uma nota musical. Anteriormente, as notas eram designadas pelas sete primeiras letras do alfabeto latino.

Assim, as notas musicais passaram a ser chamadas UT, RE, MI, FA, SOL, LA e SI. Posteriormente o nome DO substituiu o UT:

*“ Ut queant laxis **R**esonare fibris **M**ira gestorum **F**amuli tuorum **S**olve polluti **L**abii reatum **S**ancte **I**oannes “*

Cujo significado será algo como:

"Para que os teus servos possam ressoar claramente a maravilha dos teus feitos, limpa os nossos lábios impuros, ó São João." [3]

No início, a principal característica da música medieval era o facto de esta ser monofónica. A música mais antiga que se conhece, consiste numa única melodia.

Na primeira fase, a música religiosa ou canto gregoriano não tem acompanhamento; baseava-se em melodias que fluíam livremente, mantendo-se quase sempre, dentro de uma oitava e, preferencialmente, através de intervalos de um tom. Os ritmos são irregulares, gerados de forma mais ou menos livre, de acordo com a acentuação das palavras e o ritmo natural da língua latina; o canto gregoriano anotava-se mediante neumas (sinais que indicam movimentos ascendentes e descendentes). Alguns cantos eram executados no

¹ Os neumas eram os elementos básicos do sistema de notação musical utilizado antes da notação de pautas de cinco linhas, em uso nos dias de hoje. Trata-se de um conjunto de sinais que se utilizavam nos sistemas de notação do canto gregoriano e que apenas indicavam a distância relativa entre os sons (intervalos), sendo que o ritmo não era objeto de notação. São escritos em pautas de quatro linhas (tetragrama) e os primeiros documentos com neumas datam do séc. VIII. Esta forma musical foi muito utilizada na Idade Média.

estilo antifonal (os coros cantam alternadamente) e outros no estilo responsorial (vozes do coro a responder a um ou mais solistas).

As danças e canções, compostas pelos trovadores, eram também na sua maioria monofónicas – os instrumentos que deveriam acompanhar essas danças e canções incluíam charamela, cometo, órgão, carrilhão, cistre, harpa, viela, rebeca, saltério, etc. [4]

Posteriormente, e graças ao impulso dos sistemas de notação, aparece a música polifónica. As primeiras composições datam do séc. IX, quando os compositores passaram a ornamentar as suas músicas utilizando para tal mais de uma linha melódica, dando assim origem ao *organum*:

- **Organum Paralelo:** era acrescentada uma linha melódica, a *vox organalis* (voz organal), que duplicava a *vox principalis* (voz principal) em intervalos de quartas ou quintas;
- **Organum Livre:** a *vox organalis* liberta-se da *vox principalis*, deixando simplesmente de a copiar, diferenciando-se apenas com quintas ou quartas e passando a baixar-se enquanto a voz principal se eleva (movimento contrário), a conservar-se fixa enquanto a voz principal se move (movimento oblíquo) e a seguir a mesma direção da voz principal mas não exatamente pelo mesmo intervalo (movimento direto). Mantinha-se ainda assim, o estilo de nota contra nota (por exemplo, enquanto uma voz canta em semínima a outra canta também em semínima);
- **Organum melismático:** é abandonado o estilo nota contra nota. Um melisma é quando uma sílaba é cantada por um grupo de notas, e daí o nome *Organum Melismático*. [3]

Este período foi denominado de *Ars Antiqua*, nome dado à música produzida principalmente na França entre os séculos IX e XIII, pelos compositores da chamada Escola de *Notre-Dame* de Paris. Esta constituiu um dos primeiros pontos culminantes na história da polifonia: o seu nome provém da escola de cantores da Catedral, desde 1163 até meados do séc. XIII. Aqui as partituras de *organum* alcançaram um admirável estado de composição. Destacam-se os nomes de dois compositores: Leonin (até 1180) e Pérotin (até 1200). Os géneros da época de *Notre-Dame* são, para além do *organum*, o *motete* e o *conductus*. A *Ars Antiqua* representou assim o início da polifonia na música ocidental e destinava-se basicamente ao serviço religioso.

Enquanto na *Ars Antiqua* (1240/50-1310/20) os ritmos era assentes rigorosamente na poesia, na *Ars Nova* (1320-1380) este tornaram-se mais flexíveis e ousados. A diferenciação dos ritmos no séc. XIII, para além de outras razões, surgiu da necessidade de definir ritmicamente a nota individual – notação mensural (uso de diferentes sinais que indicam o valor específico de cada nota). O maior compositor da *Ars Nova* foi Guillaume de Machaut, que escreveu um número considerável de motetes e canções. Machaut foi o primeiro compositor a fazer um arranjo polifónico completo para missa (*Kyrie, Gloria, Credo, Sanctus e Agnus Dei*). [4]

2.3.4. RENASCIMENTO

Quando se fala em Música renascentista refere-se à música europeia escrita durante o período da Renascença ou seja, aproximadamente entre os anos de 1400 e 1600. A determinação do início do período renascentista na Música é no entanto difícil, devido à quase total inexistência de alterações abruptas no pensamento musical do século XV. Certo é que o movimento humanista italiano, revelando e divulgando a estética das antigas Roma e Grécia, contribuiu, num nível conceitual, para uma reafirmação da música, sendo que a sua influência direta sobre a teoria musical, composição e interpretação é meramente sugestiva. [3]

Em pleno ambiente renascentista, a polifonia católica passou das igrejas para os salões da aristocracia. Os reformistas protestantes fizeram o contrário, indo buscar por entre o povo as suas temáticas musicais. Enquanto isso, os flamengos percorreram a Europa difundindo o seu estilo, fazendo nascer vários géneros de canção (*chanson, song e lied*). Clément Janequin (1480-1558), compositor francês, não foi o único a sofrer a influência flamenga. Também William Byrd (1543-1623) e Orlando de Lassus (1531-1594) se tornaram seguidores dessa escola de virtuosos. Neste último, é bem patente a música de influência flamenga, cuja expressividade alude para a crise espiritual do seu tempo. [7]

Gioseffe Zarlino (1517-1590) enunciou as noções básicas da Tríade Tonal, determinando que a tónica, a dominante e a subdominante seriam, respetivamente, a primeira, a quinta e a quarta notas de um certo tipo de escala. Esta conceção teórica trouxe novos recursos à música.

Pelo seu cariz popular, o canto protestante ultrapassou a liturgia católica e a preocupação da Igreja perante tal circunstância esteve patente no Concílio de Trento (1563), quando os

jesuítas esboçaram uma tentativa de revitalizar a sua música. Porém, colidiram com um sério obstáculo: as normas canónicas proibiam o acesso ao estilo flamengo, alegando que este confundia o texto religioso. O impasse permaneceu até que Giovanni da Palestrina (1525-1594) encontrou uma solução habilidosa: se o texto era o problema, bastava dar mais destaque às palavras para sobressair na música as emoções por ele sugeridas. Assim, eliminou o acompanhamento instrumental, criando composições "a capela", isto é, destinadas exclusivamente à voz humana.

Todavia, no apogeu da expressividade renascentista, o desejo de alcançar o grandioso exigiu de novo a participação do acompanhamento instrumental. As tentativas de Andrea Gabrieli (1510-1586) no sentido de usá-lo como apoio à música de vários coros levaram seu sobrinho Giovanni Gabrieli (1557-1612) a seguir pelo mesmo caminho. Em obras extraordinárias, Giovanni acrescentou o instrumental à sua policoralidade. [7]

2.3.5. BARROCO

A Renascença transformou a mentalidade europeia, alterando completamente as suas conceções. No lugar do divino estava agora o Homem. Era o reviver dos ideais artísticos da Antiguidade Clássica.



Figura 4 J. S. Bach [46]

A música do período Barroco, que vai desde o aparecimento da ópera por Claudio Monteverdi no século XVII, até a morte de Johann Sebastian Bach (Figura 4), em 1750, ressentiu-se dos efeitos desse novo pensamento. Os grandes coros polifónicos foram progressivamente substituídos pelo canto individual (homofonia), com acompanhamento instrumental. Procurava agora centralizar-se na voz de um único cantor a comunicabilidade

musical. Concludentemente tornou-se hábito apoiar o cantor com os acordes de um instrumento: a melodia acompanhada. [7]

O período da música barroca trata-se de uma das épocas musicais de maior extensão, fértil, revolucionária e importante da música ocidental, mas sobretudo, muito provavelmente, também a mais influente. As características mais importantes são o uso do baixo contínuo, do contraponto e da harmonia tonal, em contraste com os modos gregorianos até então em vigor. Na realidade, tratava-se do aproveitamento de dois modos: o modo jónico ou modo "maior" e o modo eólio ou modo "menor". [3]

Um outro sinal da mudança dos tempos foi o retorno às grandes tragédias gregas cantadas, que levou, posteriormente ao desenvolvimento da ópera em Itália.

Paradoxalmente, esse género musical que espelhava a vida opulenta dos burgueses ricos das cidades italianas gozou desde o início de uma enorme popularidade. A Eurídice que Jacopo Peri (1561-1633) e Giulio Caccini (1550-1618) escreveram no ano de abertura do século XVII fez tanto sucesso que criou de imediato seguidores. Claudio Monteverdi (1567-1643), compositor dessa época, foi mais além. Quis inovar, ser original e conseguiu, introduzindo na ópera a orquestra, dinamizando a sua harmonia com acordes avançados para a época e aprimorando o Melodrama, que se tornaria um atributo básico do estilo. [7]

Ao longo do seu desenvolvimento, a ópera barroca conquistou também os domínios da música sacra, absorvendo o carácter teatral dos Dramas Litúrgicos, que encenavam a Paixão de Cristo e outros episódios.

Nesse mesmo período tornaram-se comuns as Orquestras de Câmara (conjuntos de poucos intérpretes) e o Concerto Grosso, o mais autêntico resultado da criação barroca. No Concerto Grosso, diversos instrumentos disputavam a prevalência com a orquestra, em vez de um só, como acontece no concerto tradicional.

O grande vigor assumido pela música instrumental explica-se, sobretudo, pelos talentos extraordinários que se dedicaram a ela. Um deles foi Arcangelo Corelli (1653-1713), violinista e compositor. Outro foi Antonio Vivaldi (1678-1741), criador de uma vasta obra profana, principalmente para violino. Domenico Scarlatti (1685-1757) escreveu para cravo e, assim como os franceses Jean-Philippe Rameau (1683-1764) e François Couperin (1668-1773), caracterizou a sua obra com traços do estilo galante ou Rococó.

Porém, do auge do Barroco destaca-se imediatamente um nome: Johann Sebastian Bach, considerado o maior compositor do barroco e um dos mais importantes da história da Música. Com a invenção da fuga tonal, Bach revolucionou o sistema musical vigente, baseado em intervalos sonoros desiguais. O seu Sistema Temperado veio a tornar possíveis intervalos sempre iguais entre notas, igualando todos os semitons. Considera-se que, por ter esgotado todas as possibilidades da música barroca, a morte de Bach marca o ponto final do Período Barroco.

Em Portugal, no período barroco são de salientar nomes como Francisco António de Almeida e João Rodrigues Esteves que trabalharam no domínio da Ópera e das obras vocais. Digno de destaque é ainda Carlos Seixas que se notabilizou no campo da literatura musical para teclas, com mais de 700 sonatas, modernizando também o repertório orquestral, com uma "Abertura em Ré Maior" em estilo francês, uma "Sinfonia em Si bemol Maior" em estilo italiano e um "Concerto para cravo e orquestra em Lá Maior", um dos primeiros exemplares do género na Europa e um contributo genial para o desenvolvimento do Barroco. [3]

2.3.6. CLASSICISMO

Ao longo do séc. XVIII realizou-se aquilo a que alguns dos últimos compositores barrocos aspiravam: a criação de uma arte abstrata.

Os classicistas não pretendiam que sua música servisse somente para cantar a religião, o amor, ou o trabalho. O que ansiavam era dar-lhe pureza total, a ponto de que o mero ato de ouvi-la fosse o suficiente para dar prazer. A perfeição da forma era o seu ideal estético e a abstração completa seria o meio para o atingir. Foi com base nessa abstração que conseguiram a Sonata Clássica e a Sinfonia.

Já o classicismo estava maduro quando no cenário musical se destacou a figura de Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) (Figura 5). Sobre Mozart, as opiniões variam muito. Os seus admiradores qualificam-no pura e simplesmente como "universal". Já os musicólogos e historiadores destacam o carácter nitidamente vienense de sua música. De facto, a alegria às vezes melancólica das suas composições identifica-se com o folclore de Viena, no qual se crê que o compositor tenha procurado inspiração.

Naquela altura, ainda se manifestava o estilo Rococó e parte da criação musical que Mozart deixou revela traços desse estilo. Entretanto, muitas das suas peças, particularmente as últimas, antecipam a música que depois haveria de surgir com Beethoven.

Uma personalidade musical complexa – talvez seja esta a melhor maneira de definir Mozart. Nasceu na Áustria e foi um autêntico génio precoce, que desde pequeno se revelou um virtuoso do piano. O seu poderoso talento criativo conferia-lhe uma expressão versátil, permitindo-lhe escrever com a mesma agilidade para géneros instrumentais e vocais, criando assim uma obra que só não foi mais extensa devido à sua morte prematura.



Figura 5 Wolfgang Amadeus Mozart [47]

Entre os finais do séc. XVIII e o início do séc. XIX, o rígido formalismo clássico estava em decadência, sem que, no entanto, nenhum outro estilo se vislumbresse. Mozart propusera novas concepções, mas morreu muito cedo, sem chegar a enquadrá-las numa tendência definida. Uma espécie de expectativa reinava no campo musical. Era a fase hoje chamada pré-romântica, na qual a obra de Ludwig van Beethoven (1770-1827) causaria um tremendo impacto, dando à música maior energia.

Beethoven (Figura 6) considerava-se "O Napoleão da Música", e com razão, pois era indiscutivelmente único. Foi o primeiro compositor a impor condições aos editores, numa desafiadora afirmação da sua individualidade. O racionalismo do século XVIII não se ajustava de forma alguma à sua natureza, acabando Beethoven por deixá-lo

progressivamente de lado para compor com liberdade, dando asas ao seu temperamento impulsivo e violento, mas também sonhador e bucólico.



Figura 6 Ludwig van Beethoven [48]

A ordem classicista estabelecia que o desenvolvimento de um tema sinfónico devia conter um ponto de partida, criar uma tensão e depois aliviá-la com um afrouxamento. Haydn e Mozart compuseram dessa forma. Outros músicos continuavam a fazê-lo, mas Beethoven não se importou em ser o primeiro a romper com a tradição. Rebelando-se contra ela, subverteu-a já em 1800, com sua 1ª Sinfonia, que fez principiar em tensão. E mais: em vez de minueto, o compositor deu ao terceiro movimento uma forma aproximada à do scherzo, embora conservando aquela nomenclatura. As suas nove Sinfonias são consideradas insuperáveis.

A contradição esteve presente na vida e no trabalho de Beethoven. O grande inconformado que afrontava o Classicismo compunha também sonatas clássicas, as quais, por sinal, se tornaram célebres. Porém, no conjunto da sua obra, o mestre alemão foi coerente. Deixou clara a superação do refinamento do velho Classicismo, denunciando o fim da aristocracia e apontando o romântico mundo novo que estava pela frente. [7]

2.3.7. ROMANTISMO

O período do romantismo musical coincide com o romantismo noutras artes como a Literatura, Filosofia ou as Artes Plásticas. O principal conceito do romantismo é que a verdade não poderia ser deduzida a partir de axiomas e que determinadas realidades só

poderiam ser captadas através da emoção, do sentimento e da intuição. Assim, a música romântica é caracterizada pela maior flexibilidade das formas musicais e pela procura em focalizar mais o sentimento transmitido pela música do que propriamente a estética, ao inverso do Classicismo. No entanto, os géneros musicais clássicos, como a sinfonia e o concerto, continuaram a ser escritos. [3]

No romantismo, estabeleceram-se várias noções de tonalidades para descrever os vocabulários harmónicos herdados do período Barroco e do Classicismo. Os compositores românticos tentaram juntar as grandes estruturas harmónicas desenvolvidas por Haydn e aperfeiçoadas por Mozart e Beethoven com suas próprias inovações, procurando maior fluência de movimento, maior contraste e cobrir as necessidades harmónicas de obras mais extensas. A mudança de tom acontecia de maneira mais brusca que no Classicismo e as modulações ocorriam entre tons cada vez mais distantes. As propriedades dos acordes de sétima diminuta, que permitem modular a praticamente qualquer tonalidade, foram exploradas exaustivamente.

Durante o Período Romântico foram feitas analogias entre a Música e a Poesia. Ao mesmo tempo, foi concebida uma base mais sistemática para a composição e interpretação da música de concerto. Houve de igual forma um crescente interesse nas melodias e temas, assim como na composição de canções, não esquecendo o grande desenvolvimento da orquestra sinfónica e do virtuosismo, com obras cada vez mais complexas.

A Revolução Francesa não mudou apenas o regime político da França, mas abalou toda a Europa, repercutindo-se em todo o mundo sob a forma de um surto de liberalismo. Nos primeiros anos do século XIX, os Direitos do Homem, a Democracia e a liberdade de expressão tomavam conta da mentalidade europeia, modificando os seus critérios de valor. Assim, a Música e a Arte de modo geral procuravam desligar-se da arte do passado deixando aos poucos os salões dos palácios e pondo-se mais ao alcance da nova classe social em ascensão, a burguesia, invadindo as salas de concerto, conquistando um novo público, ávido de uma nova estética. [8]

Os compositores passaram a dar brilho às suas peças com produtos da cultura popular, mas o foi o subjetivismo que se impôs como a principal característica da música Romântica.

De entre tantos nomes grandes do período romântico, decidiu-se destacar dois importantes vultos: Frédéric Chopin (1810-1849) e Franz Liszt (1811-1886).

Chopin (Figura 7), compositor polaco inspirou-se em danças populares, despertando com a sua música o amor patriótico e o sentimentalismo. Em Paris, onde se refugiara da ameaça do czarismo russo, Chopin ganhou fama tocando ao piano as mazurcas e *polonaises* que compunha, numa evocação dos ritmos típicos da sua terra. [7]



Figura 7 Frédéric Chopin [49]

Por volta da mesma época, um prodigioso pianista húngaro chamado Franz Liszt (Figura 8) percorria o continente fascinando as plateias com a agilidade rítmica das suas Rapsódias Húngaras. Inspirado pela brilhante arte orquestral do seu contemporâneo Hector Berlioz (1803-1869), introduziu o Poema Sinfónico, cujas liberdades de forma o levaram a um dos primeiros planos no panorama romântico.

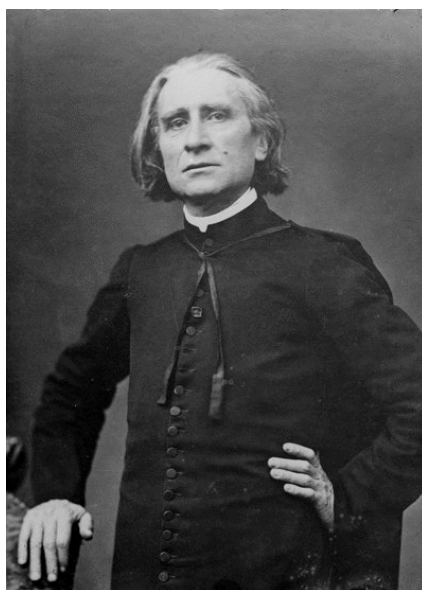


Figura 8 Franz Liszt [50]

Com Liszt surgiu o conceito de carreira musical solista como se conhece hoje. Ele foi efetivamente o primeiro "*pop-star*" do piano. Tudo começou quando assistiu a um concerto do grande violinista e compositor Niccolò Paganini e decidiu seguir o seu exemplo. Os seus concertos estavam sempre lotados e ele fazia questão de manter uma aura de charme e virtuosismo quando se apresentava, geralmente tocando composições de altíssimo nível técnico, que deslumbravam o público. [8]

2.3.8. IMPRESSIONISMO

No início do séc. XX, a música europeia estava num impasse. Os músicos e compositores questionavam-se sobre a possibilidade de criar algo realmente novo dentro do sistema tonal, já tão explorado. Por tentarem encontrar uma saída, os alemães Gustav Mahler (1860-1911) e Richard Strauss (1864-1949) foram considerados "ultramodernos". O russo Aleksander Scriabin (1872-1915) também procurava soluções. Os acordes da harmonia convencional pareciam-lhe demasiadamente gastos. Este idealizava uma música que "exalasse cheiro", "provocasse visões" e "sugerisse cores". Enquanto isso, praticamente ignorado pelos seus contemporâneos, Claude Debussy (1862-1918) resolvia o problema com uma conceção musical nova: o Impressionismo. Esteticamente, Debussy (Figura 9) propunha uma arte de *nuances*, que sugerisse em vez de descrever. Para realizá-la, desenvolveu uma técnica que consistia em explorar o encadeamento de acordes, que sugerissem várias tonalidades. O seu contemporâneo Maurice Ravel (1875-1937) não foi menos extraordinário, uma vez que a obra que compôs - para o piano, canto ou orquestra - revelava já traços impressionistas.



Figura 9 Claude Debussy [51]

Outros nomes surgiram um pouco por toda a Europa: Prokofiev (1891-1953), Shostakovich (1906-1975), Kabalevsky (1904-1987), Albéniz (1860-1909), Granados (1867-1916), entre outros.

2.3.9. MODERNISMO

As catástrofes sociais que abalaram o mundo na primeira metade do século XX mostraram o quanto era falso continuar a fazer música com base no passado. As pesquisas rítmicas, o renascimento de formas musicais antigas para resultados modernos, o uso de várias tonalidades (politonalismo) ou de nenhuma (atonalismo) não constam de um mero exotismo. Antes refletem, realmente, a verdade desta época.

Quando Igor Stravinsky (1882-1971) (Figura 10) em Maio de 1923 estreou a sua Sagração da Primavera, foi um escândalo. Contudo esse escândalo passou e a influência do compositor cresceu sem cessar, apesar de todas as críticas.



Figura 10 Igor Stravinsky [52]

Nos Estados Unidos, George Gershwin (1898-1937) (Figura 11) fazia valer-se do "Jazz", na sua procura pelas origens da expressão musical do povo americano.



Figura 11 George Gershwin [53]

Entretanto, as investidas levadas a cabo por Wagner, tempos antes, contra o sistema tonal foram recuperadas por Arnold Schoenberg (1874-1951). Schoenberg (Figura 12) levou às

últimas consequências o cromatismo wagneriano, provocando a superação da tonalidade, levando a música à atonalidade. Posteriormente, organizou um sistema para compor dentro da atonalidade: a Teoria do Dodecafonismo, que se baseia na escala dos Doze Sons (sete tons e cinco semitons). A grande novidade desta teoria é pretender dar a cada um deles a mesma função numa obra musical. Vai formar novas séries ou escalas, empregando livremente os Doze Sons da escala cromática.



Figura 12 Arnold Schoenberg [54]

Os austríacos Alban Berg (1885-1935) e Anton von Webern (1833-1945) foram os mais proeminentes seguidores da denominada "Escola de Schoenberg", legando obras de extraordinária importância. O francês Pierre Boulez, por sua vez, levou às últimas consequências o Dodecafonismo, explorando-o sob o ponto de vista rítmico, dinâmico, do timbre, etc. Em 1948, ainda na França, Pierre Schaeffer (1910-1995) apresenta a Música Concreta, baseada na pesquisa de "sons concretos", como o barulho do avião, o tilintar de vidros, o canto das aves, e outros, captados por gravadores e tratados em aparelhos eletrônicos. Daí nasce a Música Eletrônica, que emprega sons tratados "laboratorialmente".

Juntamente com a Música Aleatória (organizada à medida que se processa a execução), esses géneros constituem um dos fenómenos recentes mais controverso de toda a história da Música. Levados pela moderna teoria da comunicação de massas, e tendo por lema a "antimúsica para salvar a música", os seus cultores sentem total liberdade para chocar ou divertir o público. A fúria, o desgosto, o medo e o entusiasmo provocados pelas apresentações dessa Música de Vanguarda refletem com clareza a colisão entre conceitos e a luta de gerações que caracterizaram o momento da época.

2.3.10. MÚSICA DO SÉCULO XX

No séc. XX ocorreu na Música uma verdadeira revolução, não só pelo explosivo ganho de popularidade do rádio em todo o mundo mas também pelas novas tecnologias que foram desenvolvidas para gravação, reprodução e distribuição de música. Esta deixou de estar limitada a concertos e a clubes ou salões e os músicos puderam ganhar rapidamente fama nacional e até internacional. A música tornou-se também cada vez mais portátil. Os auscultadores permitiram que diferentes pessoas, embora estando próximas, pudessem ouvir composições completamente diferentes. As apresentações tornaram-se cada vez mais visuais, com a transmissão e gravação de *videoclips* e concertos. [9]

A música do século XX trouxe ainda uma maior diversidade e experimentação, com novos géneros musicais e formas que desafiaram dogmas de anteriores períodos. A invenção e difusão dos instrumentos musicais eletrónicos e do sintetizador em meados do século revolucionaram a música popular e aceleraram o desenvolvimento de novas formas de música. Os sons de diferentes continentes começaram, de alguma forma, a fundir-se. Meios de transporte mais rápidos permitiram aos músicos e fãs viajar mais longe para apresentar os seus trabalhos ou ouvir, respetivamente.

Agora, o público tinha ao seu dispor um maior leque de opções musicais, o que deu origem ao fenómeno da *World Music*.

Por exemplo, a música popular data ainda de meados do século XIX, mas foi no séc. XX que verdadeiramente se desenvolveu.



Figura 13 Elvis Presley, Michael Jackson, Metallica [55]

De destacar, são vários os estilos que se foram desenvolvendo ao longo do século, como o *Jazz, Folk, Rock and Roll, Heavy Metal, Pop, Disco, Soul, Hip Hop*, Música Eletrónica, entre vários outros estilos. (Figura 13) [10]

2.3.11. MÚSICA EM PORTUGAL NO SÉCULO XX

A música clássica teve ao longo do século personalidades de enorme relevância e que contribuíram para a renovação da Música. Entre eles são de destacar Luís de Freitas Branco, cujas composições inovaram pelo carácter impressionista; Frederico de Freitas, compositor de obras modernistas dos mais variados géneros; Lopes Graça, com obras de grande inspiração na música tradicional portuguesa, Rui Coelho, cuja criação operática se destaca por ser inteiramente portuguesa, Joly Braga Santos, premiado pela UNESCO, Álvaro Cassuto, Filipe Pires, que teve obras também reconhecidas internacionalmente, e Jorge Peixinho, na linha do pós-modernismo.

No início do século XX, as influências internacionais que mais se faziam sentir em Portugal eram a russa, a italiana e a francesa, com realce para esta última por ser das mais vanguardistas. Foi para França que muitos músicos portugueses foram estudar e trabalhar. Dos intérpretes que mais se notabilizaram, tanto em Portugal como no estrangeiro, fazem parte Guilhermina Suggia (violoncelo), os irmãos António e Francisco de Andrade (barítonos), Maria Augusta Correia da Cruz (soprano) e Viana da Mota (pianista).

No âmbito dos contributos escritos, Bernardo Moreira de Sá publicou obras de musicografia como a *História da Evolução Musical* e *História da Música*, Manuel de Almeida Carvalhais o *Dicionário Biográfico de Músicos Portugueses* e Ernesto Vieira Os *Músicos Portugueses*.

O Fado, por ser um género intrinsecamente nacional, foi uma das tipologias musicais que se viram mais promovidas no Portugal do século XX, tendo sido alguns dos seus promotores mais conhecidos o marquês de Castelo Melhor e o conde da Anadia, celebrizando-se intérpretes como "A Albertina", "A Severa" e António "dos Fósforos". Alfredo Marceneiro, Berta Cardoso, Maria Teresa de Noronha, Hermínia, entre outros, são nomes clássicos do fado "clássico" ou "castiço". Modernamente, Amália Rodrigues (Figura 14) ficou conhecida como o grande nome do fado. Cantou poemas de autores eruditos como Pedro Homem de Mello, José Régio, Alexandre O'Neill ou José Carlos Ary dos Santos. Outros nomes a referir no fado moderno são Carlos do Carmo, Teresa Tarouca,

Maria da Fé, João Braga, entre os mais velhos, ou Camané, Katia Guerreiro, Mariza, Mafalda Arnauth e Cristina Branco, entre os mais novos. De Coimbra, outro fado brotou no século XX, ligado à Universidade e suas tradições académicas, recordando-se aqui nomes como Augusto Hilário, António Menano, Edmundo de Bettencourt, Luiz Goes e até Zeca Afonso, nome maior da música popular portuguesa, no género de "intervenção", que teve grande impulso nas década de 60 e 70, na reta final da Ditadura em Portugal e na alvorada da Democracia pós-25 de Abril de 1974. Desta "geração", cumpre ainda recordar Adriano Correia de Oliveira, José Mário Branco, Sérgio Godinho, o genial Carlos Paredes na sua guitarra portuguesa, além de António Vitorino d'Almeida (Figura 14), na música erudita mas de feição contestatária ao regime de Salazar, que o atirou para um exílio em Viena (Áustria). Tozé Brito, José Cid, o Quarteto 1111, António Calvário, Paulo de Carvalho e Carlos Paião, são outros, entre muitos nomes da música *pop*, que marcaram a transição dos anos 70 para a mais arrojada década de 80.



Figura 14 Amália Rodrigues e António Victorino d'Almeida [56][57]

Herman José, Marco Paulo, Roberto Leal e Tony Carreira são cantores de uma faceta mais popular da música popular portuguesa, mas com importante implantação a nível nacional e êxitos de vendas insuperáveis.

De referir ainda que a música popular forneceu inspiração e temas inesgotáveis para o trabalho de músicos e compositores como Lopes Graça, Francisco Lacerda e Joly Braga Santos. Esta vertente nacionalista foi igualmente a de Afonso Lopes Vieira, Viana da Mota, Luís de Freitas Branco e Alexandre Rey Colaço. Michel Giacometti foi um dos grandes recolectores de música popular portuguesa, uma recolha iniciada nos anos 60 e

completada na década seguinte, que constitui um dos maiores repertórios da cultura nacional.

Na música moderna portuguesa, os anos 80 registaram o nascimento do *rock* em Portugal, já que a opressão política do estado Novo restringiu a criação e divulgação deste tipo de sonoridades. Em português ou em inglês, a partir do "Chico Fininho" de Rui Veloso, o panorama da música portuguesa não mais foi o mesmo. Além deste, GNR, UHF, Lena d'Água, Xutos e Pontapés, Delfins, Pedro Abrunhosa, Madredeus, Jafumega, Heróis do Mar, Ena Pá 2000, António Variações, Jorge Palma e Trovante são outras das referências da renovação da música portuguesa na parte final do século XX.

Em sonoridades mais sincréticas e assimiladoras de tendências internacionais e dentro de um espírito mais multiétnico, surgem nomes como Da Weasel, Mind Da Gap, Dealema, entre tantos outros que brotam nos meios urbanos e suburbanos portugueses, apesar da música regional e folclórica estar ativa e a tentar recuperar ou preservar sonoridades antigas.

De referir ainda que aumentaram as entidades promotoras de espetáculos, das autarquias aos poderes regionais e locais vários, com inúmeros festivais de música um pouco por todo o País. A Fundação Gulbenkian é, a título de exemplo, uma das referências maiores no apoio à música portuguesa. Na criação artística, novos nomes surgem, com maior abertura a correntes estéticas novas, além de cursos universitários e superiores, com docentes estrangeiros e intercâmbios internacionais. [11]

2.3.12. O FUTURO...

É certo que a Música Contemporânea não se esgota aqui. Os recursos hoje disponíveis para a criação sonora são muitos e variados. Largos horizontes se abrem e o mundo dos sons ainda tem muito a oferecer.

Uma coisa é certa: os rumos que a expressão musical seguirá são imprevisíveis e quanto a isso, não há dúvidas.

2.4. O FADO

Pelo facto do autor pertencer a um grupo académico como executante de guitarra portuguesa, o Fado (mais precisamente na sua variante de Coimbra) foi o género musical escolhido para análise neste trabalho. Assim, considerou-se relevante efetuar uma breve abordagem à sua génese, principais momentos, bem como a algumas das suas características essenciais.

2.4.1. ORIGEM

O Fado é considerado uma das formas de expressão mais importantes da génese musical portuguesa, sobretudo das cidades de Coimbra, de Lisboa e também do Porto. Tido como um elemento de autoafirmação da cultura lusitana, o Fado é uma das formas mais autênticas de exteriorizar a maneira de ser, de sentir e de lidar com questões do quotidiano, próprias do povo português.

Classificado como um dos ícones culturais de Portugal, o Fado surge no século XIX e afirma-se como o género, por excelência, mais expressivo na música popular portuguesa. Até então, a palavra “Fado” era sinónimo da palavra latina *factum*, que significa “destino”. [36]

As suas origens exatas são incertas, sendo que existem várias versões sobre como este género musical (que passou por várias vicissitudes até chegar ao panorama atual) surgiu. Uma das teorias defende que a origem do Fado remete para os cânticos dos mouros que permaneceram no Bairro da Mouraria após a reconquista cristã. Tal explicação carece de veracidade do ponto de vista etnomusicológico, pois não há registo da existência de fados até ao início do século XIX, não sendo conhecido nem no Algarve, nem na Andaluzia, último reduto árabe na Península Ibérica. Outra teoria advoga que o Fado terá surgido no Brasil e que se terá tornado conhecido em Portugal após o regresso da corte de D. João VI. [36] Assim, a discussão em torno da génese do Fado é uma espécie de “Ovo de Colombo”, onde não faltam a paixão e um pouco de teimosia por parte dos mais tradicionalistas. [37] No essencial, a origem histórica do Fado é ainda desconhecida, sendo certo que surge da mistura de culturas presentes em Lisboa e por isso considerada uma canção urbana.

Apesar da incerteza quanta à sua origem, certo é que o Fado passou por diversas reestruturações literárias e musicais, recebeu influências de outros géneros musicais (dos

quais mistura elementos próprios de cada um) e têm-se recriado constantemente por interferência das diversas gerações de compositores, abrindo-se assim para um leque de subtis (embora definidas) diferenças.



Figura 15 Painel “O Fado”, de José Malhoa [58]

Recentemente foi elevado à categoria de Património Oral e Imaterial da Humanidade pela UNESCO, numa declaração aprovada no VI Comité Intergovernamental desta organização internacional, realizado em Bali, na Indonésia, entre 22 e 29 de Novembro de 2011. [38]

2.4.2. FADO DE COIMBRA: GÉNESE

Profundamente ligado às tradições académicas da respetiva Universidade, o Fado de Coimbra (também denominado de Canção de Coimbra) surge na segunda metade do século XIX, através dos estudantes vindos de todo país que levavam as suas guitarras para Coimbra. (Figura 16)



Figura 16 Ilustração alusiva ao Fado de Coimbra [59]

A partir do final dos anos 20, princípio dos anos 30 do século XX, surgem relatos das primeiras manifestações deste tipo de Fado na cidade do Porto, sobretudo através de estudantes de Engenharia, com antecedentes em Coimbra (cursados os «Preparatórios» na Faculdade de Ciências) e que agora rumavam à *Invicta* para concluírem a licenciatura.

Ainda assim, curiosamente, os nomes mais antigos de que há registo são de estudantes dos então Institutos Industrial e Comercial (atualmente Instituto Superior de Engenharia e Instituto de Contabilidade e Administração, do Instituto Politécnico do Porto), como Alexandre Brandão, Lauro de Oliveira, Fernando Lencart ou Ayres Máximo Saraiva de Aguillar. [39]

Atualmente, um pouco por todo o país e onde existam instituições de Ensino Superior, podem encontrar-se manifestações deste género musical, levadas a cabo por estudantes, com destaque para as Academias de Coimbra (o berço desta música) e do Porto. Exclusivamente (ou quase) cantado por homens, tanto os cantores como os músicos (enquanto estudantes) usam o traje académico: calças e batina pretas, cobertos pela capa negra. Geralmente canta-se à noite, quase às escuras, em praças ou nas ruas das cidades. Os sítios mais típicos são o Largo da Sé Velha em Coimbra ou junto à antiga Cadeia de Relação, na Cordoaria (Porto), locais onde se realizam as Monumentais Serenatas da Queima das Fitas (Figura 17). Também é tradicional organizar serenatas particulares, em que se canta junto à janela da casa da donzela que se pretende conquistar. [40]



Figura 17 Monumentais Serenatas da Queima das Fitas de Coimbra e do Porto [60]

2.4.3. FADO DE COIMBRA: PRINCIPAIS MOMENTOS

Podem descortinar-se quatro momentos fundamentais na evolução académica deste género musical, ao longo do século XX:

- **Anos 20:** No seio da denominada “geração de ouro”, com nomes como António Menano e Edmundo de Bettencourt (cantor e poeta da Presença) surgia a Escola Modernista na Canção de Coimbra. (Figura 18)

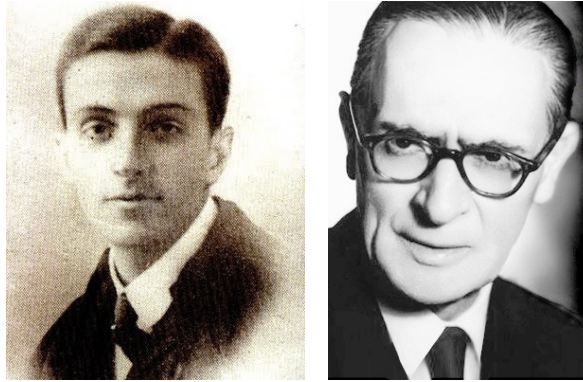


Figura 18 António Menano e Edmundo de Bettencourt, o poeta cantor [41]

- **Anos 50/60:** No final dos anos 50, inicia-se um movimento que levou os novos cantores de Coimbra a adotar a balada e o folclore, ao mesmo tempo que cantam temas de grandes poetas, clássicos e contemporâneos, como forma de resistência à ditadura de Salazar. Neste movimento destacaram-se nomes como António Bernardino, Adriano Correia de Oliveira e José Afonso (Zeca Afonso), que tiveram um papel preponderante na autêntica revolução operada desde então na Música Popular Portuguesa (Figura 19). Abre-se também um ciclo com Nuno Guimarães, guitarrista e poeta, renovando-se a linha mais tradicional deste Cantar Académico; Temas como “Saudades de Coimbra” (“Do Choupal até à Lapa”) ou a Balada da Despedida do 6º Ano Médico de 1958 (“Coimbra tem mais encanto, na hora da despedida”), são algumas das mais conhecidas canções. No que respeita à guitarra portuguesa, Artur Paredes revolucionou a afinação e a forma de acompanhamento da Canção de Coimbra, associando o seu nome aos cantores mais progressistas e inovadores. O seu filho, Carlos Paredes (Figura 19), o génio da guitarra, seguiu-o e ampliou de tal forma a versatilidade da guitarra portuguesa que a elevou a um patamar superior, transformando-a num instrumento de concerto, conhecido em todo o mundo.



Figura 19 Zeca Afonso e Carlos Paredes

- **Anos 60/70:** Com Luiz Goes (Figura 20), aquele que melhor assimilou e assumiu a importância de Edmundo de Bettencourt na redefinição da Canção de Coimbra, surge a

partir de 1967, um Novo Canto, originando assim, com a Escola “Goesiana”, o Neomodernismo na Canção de Coimbra, que vai influenciar as gerações dos anos 80 e 90. [41]



Figura 20 Luiz Goes, um dos nomes maiores do Fado de Coimbra

- **A partir dos anos 80:** Com o ressurgimento do Fado de Coimbra, as referências deixam de ser individuais para surgir o grupo como identidade coletiva do desempenho de todos (Figura 21). Desde então e até aos dias de hoje, foram surgindo um pouco por todo o país dezenas de grupos de antigos e atuais estudantes que mantêm vivo este género musical, tipicamente académico e português.



Figura 21 Um grupo de Fados de Coimbra

2.4.4. FADO DE COIMBRA: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

O Fado de Coimbra é um género musical enraizado num folclore urbano, de cariz popular e académico, que entronca na música tradicional portuguesa dadas as suas influências regionais e que tem na “Serenata” a sua expressão artística mais genuína. [41]

Tal como em Lisboa, o Fado de Coimbra é geralmente cantado por uma só pessoa e acompanhado por guitarra portuguesa e guitarra clássica (nos meios fadistas denominada "viola"). No entanto, a afinação e a sonoridade da guitarra portuguesa de Coimbra, são diferentes da sua congénere de Lisboa, na medida em que (entre outras características construtivas que as distinguem) as cordas são afinadas um tom abaixo e a técnica de

execução é diferente por forma a projetar o som do instrumento em espaços exteriores (o palco privilegiado deste género), ao mesmo tempo que transmite à música uma sonoridade mais soturna. [40]

Oriundo nos estudantes da classe burguesa ou aristocrática do século XIX, o Fado de Coimbra é caracterizado desde sempre por um estilo mais elevado, um carácter erudito e uma auréola mais romântica. A sua performance, aliada à sofisticação técnico-musical, ganhou características próprias, sobretudo a partir de Hilário Costa Alves (estudante de medicina da Universidade de Coimbra) e os poemas cantados refletiam a formação erudita de autores como Guerra Junqueiro ou António Nobre.

A sua temática gira em torno do quotidiano estudantil (da iniciação amorosa, dos exageros da juventude, da paixão pela cidade – ícones referenciais de saudade de um tempo especial na vida dos estudantes), da passagem para a vida adulta, bem como de outros temas relacionados com a própria condição humana. Relativamente à técnica interpretativa verifica-se alguma raiz do tipo de colocação de voz semi-operática e de linguagem expressiva ultrarromântica – nomeadamente no que respeita à liberdade rítmica do enunciar da frase musical e às suspensões nas notas agudas, que marcam como características identitárias o estilo da canção de matriz coimbrã. [36]

A partir dos anos 20 do século passado, o Fado de Coimbra adquire também um cunho lírico, num género de canção urbana estudantil, dominado pelos modelos poéticos eruditos, onde os poemas ganham características formais artificiais e rebuscadas, dando origem ao “fado esdrúxulo” e ao “fado de repetição”. [36]

O uso da guitarra portuguesa no Fado de Coimbra também fomentou uma prática instrumental muito mais rica, para que muito contribuíram Artur Paredes e o seu filho Carlos Paredes. A família Paredes pode considerar-se como a grande responsável pela evolução da guitarra de Coimbra.

A rebeldia de Artur Paredes possibilitou que os fados tivessem uma abordagem muito mais agressiva, dramática e sofisticada. Juntamente com a família de construtores Grácio, pode afirmar-se que Artur Paredes reinventou e reconstruiu literalmente o instrumento de forma a possibilitar um ataque mais forte às notas, cadências mais longas e sons mais complexos e assertivos.

Em termos rítmicos, o Fado de Coimbra não segue uma estrutura rígida. Um exemplo dessa liberdade rítmica é a utilização frequente da interjeição “Ai”, (geralmente no início dos últimos versos), com a voz a elevar-se (ou abaixar-se) e com duração *ad libitum*.²

² *Ad libitum* é uma expressão latina que significa "à vontade". Na Música (entre outros significados), indica que o intérprete pode suspender o andamento indicado originalmente e variar livremente o tempo como bem desejar, durante um período determinado, não podendo, porém, alterar as notas. [42]

3. CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA MUSICAL

Para compreender o processo de criação de música é necessário compreender os elementos que formam a música, ou seja, entender como definir a música entre um conjunto maior dos sons organizados temporalmente. É preciso em primeiro lugar entender o som, como onda mecânica, para que se possam criar algoritmos que gerem resultados nos seus subconjuntos musicais.

Os sons são um grande emaranhado de sinais, no entanto um som monotônico tem a sua frequência medida em hertz (Hz) e sua amplitude medida em decibéis (dB). Assim, é possível representar uma onda sonora tal como ilustrado na Figura 22.

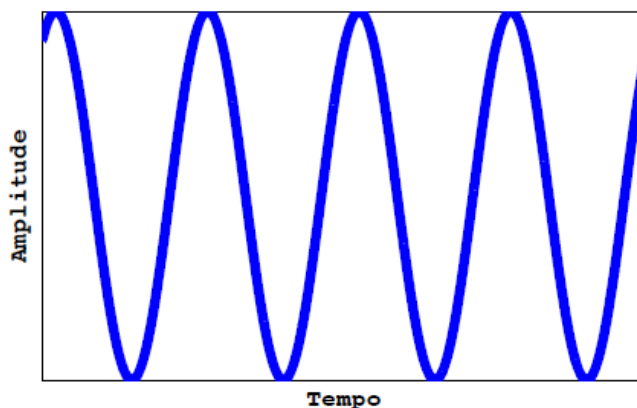


Figura 22 Representação de uma onda de som sinusoidal

Os sons têm várias propriedades, sendo que as mais importantes para este trabalho são a altura tonal, a intensidade (ou volume), a duração e o timbre.³ Assim, em termos musicais, todo e qualquer som possui, simultaneamente estas quatro propriedades. Na notação musical, tais propriedades são representadas do seguinte modo:

- **Altura tonal** – através da posição da nota na pauta (e pelas claves);
- **Intensidade** – pelos sinais da dinâmica musical;
- **Duração** – pelas figuras rítmicas (semibreve, mínima, semínima, colcheia, etc...);
- **Timbre** – através da indicação da voz ou instrumento que deve executar a música.

3.1. ALTURA TONAL

As notas musicais são definidas pelas frequências sonoras, ou seja, cada nota musical corresponde a uma frequência específica. A frequência indica o número de ocorrências de um certo evento, no caso, ciclos de onda. Essas frequências sonoras são medidas em oscilações por segundo, que é a unidade de medida hertz (Hz), em honra a Heinrich Hertz. O ouvido humano é limitado em relação à percepção das frequências, sendo que apenas frequências entre 20 e 20.000 Hz podem ser percebidas e criar sensações neurais.

As frequências podem ser compreendidas pelo ouvido humano como notas, e aí os conceitos de altura tonal de cada nota devem ser utilizados. Quando a frequência da onda é muito baixa, ou seja, ocorre um menor número de ciclos de onda por unidade de tempo, diz-se que a nota é grave (ou baixa). Caso contrário, esta será uma nota aguda (ou alta). O conceito de altura tonal está assim relacionado com a frequência percebida de um som. Não sendo uma propriedade física mas um atributo subjetivo do som. Trata-se da maneira como os humanos percebem estas frequências e as colocam num determinado contexto.

[12]

Na Figura 23 podem observar-se representações de várias ondas sinusoidais de diferentes frequências. As ondas superiores têm as maiores frequências, representando as notas mais agudas.

³ Em outros contextos, há outras características do som que também devem ser tidas em conta, como o comprimento de onda, a velocidade e direção.

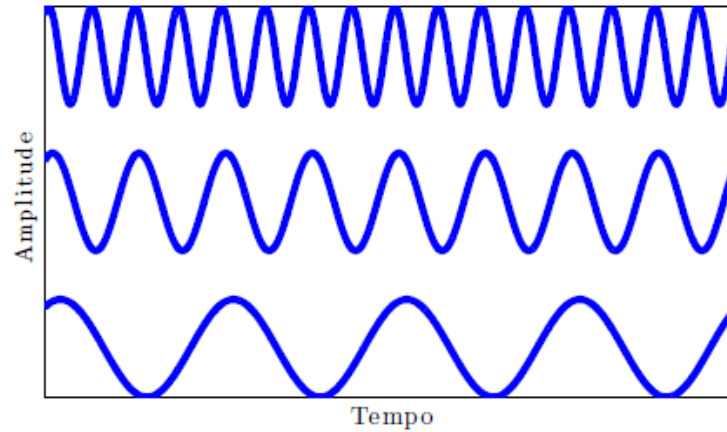


Figura 23 Representação de ondas com diferentes frequências

Essas diferentes frequências estão relacionadas com uma nota, no entanto estes conceitos não são sinónimos. Nas doze notas existentes numa escala temperada, cada uma está relacionada com mais de uma frequência. Por exemplo, se uma frequência x representa uma nota y , a frequência $2x$ ainda representa a nota y , porém diz-se que esta última nota y está numa oitava musical mais aguda. Em termos musicais, uma oitava é um intervalo entre uma nota e outra com o dobro ou metade da sua frequência. Este nome vem da sequência das notas de uma escala natural (dó, ré, mi, fé, sol, lá, si, dó), onde o segundo dó se diz estar uma oitava acima do primeiro.

Assim, pode-se deduzir que a relação entre altura tonal e frequência de onda é logarítmica. Isto quer dizer que é necessário dobrar a frequência para se avançar as 12 notas da escala cromática (dó, dó sustenido ou ré bemol, ré, ré sustenido ou mi bemol, mi, fá, fá sustenido ou sol bemol, sol, sol sustenido ou lá bemol, lá, lá sustenido ou si bemol, si, dó) ou 7 notas de uma escala natural (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó) – considerando-se ainda que se trata de uma escala temperada.

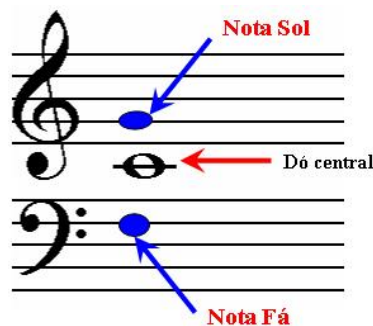


Figura 24 Claves de Sol e de Fá e respetiva representação das notas na pauta

Em partituras, as notas – com as suas respectivas frequências – são representadas em relação à posição da nota na pauta e de acordo com a respetiva clave⁴ (Figura 24), como representado na Figura 25. Quanto mais acima a nota está representada na pauta, mais aguda ela é. A primeira nota representada é um dó, assim como a oitava nota na mesma pauta. Ambas as notas são dó, porém o segundo é mais agudo que o primeiro, tendo uma frequência duas vezes maior. [13]



Figura 25 Representação das alturas tonais, pela posição das notas na pauta

Quando a frequência é multiplicada ou dividida por dois, a nota correspondente é a mesma, porém numa oitava diferente. Para definir quais as notas que se encontram neste intervalo de frequências duplicadas é necessário um esquema que é definido como temperamento musical.⁵ Cada esquema pode representar estilos ou padrões de uma determinada época. O esquema de afinação normalmente utilizado no ocidente é aquele no qual uma oitava é dividida em 12 notas, sendo que a distância entre uma nota e a próxima é sempre igual – meio-tom ou semitom. A vantagem deste temperamento em relação aos outros é que pode usar-se qualquer tonalidade sem preferência, já que cada tom está tão afinado (ou desafinado) quanto o outro. [14]

Em relação ao nome das notas são vulgarmente utilizadas duas nomenclaturas principais para representar a escala igualmente temperada: a latina e a anglo-saxónica. A diferença está representada na Tabela 2. Para aplicações computacionais, normalmente, é usada a nomenclatura anglo-saxónica. [5]

⁴ As claves são sinais que vêm no início da pauta que dão a referência da altura das notas. As principais claves são a de Sol e a de Fá (ver Figura 24).

⁵ Temperamento musical é o processo de ajustamento dos intervalos da escala de modo a que algum, como a oitava, sejam perfeitos (puros) e que alguns contenham o erro (coma), tornando-se imperfeitos. O termo temperamento significa um compromisso de afinação. Temperar implica em escolher quais os intervalos ou tonalidades conterão o erro, e quais soarão puros ou mais próximos da pureza. O temperamento musical adotado atualmente no ocidente é o temperamento igual, em que a gama é dividida em 12 semitons exatamente iguais. As quintas, terceiras e quartas são «falsas», embora iguais entre si e desviando-se apenas ligeiramente do ideal para serem suportáveis; o ouvido contemporâneo já se habituou a elas.

Tabela 2 Notações para representação das notas e respectivas frequências na oitava central

Nomenclatura Latina	Nomenclatura Anglo-Saxónica	Frequência (Hz)
Dó	C	261,63
Dó sustenido ou Ré bemol	C \sharp ou D \flat	277,18
Ré	D	293,66
Ré sustenido ou Mi bemol	D \sharp ou E \flat	311,13
Mi	E	329,63
Fá	F	349,23
Fá sustenido ou Sol bemol	F \sharp ou G \flat	369,99
Sol	G	392,00
Sol sustenido ou Lá bemol	G \sharp ou A \flat	415,30
Lá	A	440,00
Lá sustenido ou Si bemol	A \sharp ou B \flat	466,16
Si	B	493,88

3.2. INTENSIDADE

A intensidade (ou volume) está relacionada com a amplitude de uma onda. Quando se quer definir sons de diferentes volumes, os conceitos de sons altos e baixos não podem ser utilizados, já que estes são relacionados com a altura tonal do som. Para se especificar a intensidade do som, os sons devem ser definidos como sons fortes e fracos. Os sons mais fortes têm uma amplitude de onda maior. Na Figura 26, a amplitude da nota representada duplica a partir do momento marcado no centro do gráfico. Isso indica que o volume será duas vezes mais forte, apesar de a nota ter a mesma altura.

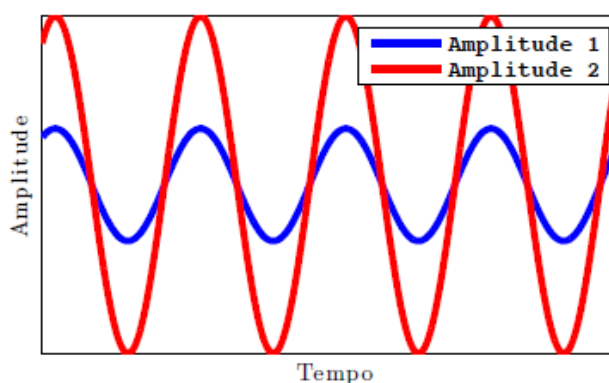


Figura 26 Representação de uma mesma nota com diferentes amplitudes

Formalmente, a amplitude é a medida da magnitude da máxima perturbação do meio por um ciclo da onda, o que faz com que a unidade apropriada para medir a amplitude dependa do tipo de onda. A amplitude de ondas sonoras costuma ser medida em decibéis (dB), pois é útil, nesse caso, uma unidade de medida logarítmica.

Quando o ouvido humano percebe um som, o conceito de intensidade aplica-se mais do que o conceito de amplitude. Assim como frequência e altura tonal não são sinónimos e sim logaritmicamente relacionados, a percepção da intensidade pelo ouvido humano é logarítmica. O ser humano só percebe variações lineares na intensidade do som quando a amplitude varia exponencialmente.

Para diferentes frequências, a percepção da intensidade do som pode também ser diferente, principalmente próximo aos limites de 20 e 20.000 Hz. A faixa de frequência em que a percepção é mais sensível pode ser melhor utilizada para música, pois permite que a dinâmica musical seja melhor entendida. O termo dinâmica musical é usado para definir a notação musical impressa para indicar a dinâmica de uma peça. Ao contrário da amplitude, a dinâmica não determina níveis específicos de volume, mas sim como a execução deve ser feita em relação ao conjunto.

Todos os sinais são derivados de palavras italianas. As gradações dinâmicas relativas mais básicas são *p* (piano), que indica sons fracos, e *f* (forte), para sons fortes. Para variações mais subtis, podem ser utilizadas outras gradações, como mostra a Tabela 3. [15]

Tabela 3 Gradações dinâmicas mais frequentes

Símbolo	Nome	Intensidade
<i>ppp</i>	<i>molto pianissimo</i>	tão fraco quanto possível
<i>pp</i>	<i>pianissimo</i>	muito fraco
<i>p</i>	<i>piano</i>	fraco
<i>mp</i>	<i>mezzo-piano</i>	moderadamente fraco
<i>mf</i>	<i>mezzo-forte</i>	moderadamente forte
<i>f</i>	<i>forte</i>	forte
<i>ff</i>	<i>fortissimo</i>	muito forte
<i>fff</i>	<i>molto fortissimo</i>	tão forte quanto possível

Estas indicações são relativas e são quase totalmente deixadas ao critério da interpretação de cada músico, à medida que as lê como escritas na Figura 27. O mais importante é que a organização de intensidade relativa seja respeitada. Em alguns programas de notação

musical, existe uma relação padrão entre o parâmetro de velocidade da *Musical Instrument Digital Interface* (MIDI) para cada intensidade.

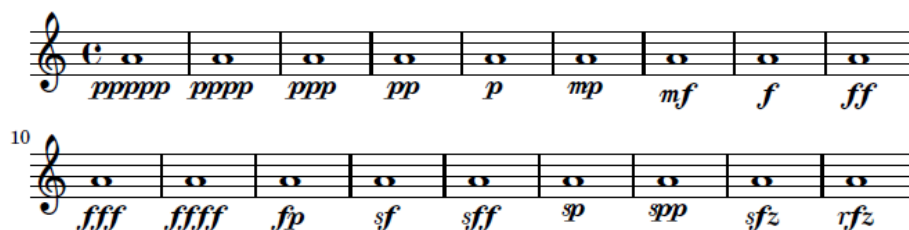


Figura 27 Representação de diferentes gradações dinâmicas numa partitura

Na música também podem ocorrer mudanças graduais. Os conceitos mais comuns são o *crescendo* e o *decrescendo*, que indicam um aumento e uma diminuição (respetivamente) gradual na intensidade. Os símbolos são linhas que são juntas na esquerda indicando que deve haver um aumento gradual de intensidade, ou na direita, indicando o contrário. O símbolo pode estar ao longo de várias notas e é normalmente escrito abaixo da partitura. Um exemplo destes símbolos numa partitura está representado na Figura 28.



Figura 28 Sinais de *Crescendo* e *Decrescendo*








3.3. DURAÇÃO

A duração é a quantidade de tempo durante o qual um som persiste. Esta característica pode ser medida em unidades absolutas de tempo (segundos e respetivos múltiplos e submúltiplos). Na Música, a duração é o tempo em que uma nota é tocada ou o tempo entre duas notas (pausa) e o seu conceito é relativo. Numa estrutura rítmica é mais importante a relação entre as durações das notas do que sua duração absoluta. A duração de uma nota, relativamente às demais, é definida através do valor indicado pelo desenho dessa nota.

Na notação musical ocidental, as durações das notas são representadas pelos símbolos utilizados nas partituras, também designados por figuras. Na música moderna, a semibreve é a nota que tem o maior valor.⁶ A Tabela 4 mostra a duração das notas musicais utilizadas nos dias de hoje.

⁶ Existem notas com valor superior à semibreve, mas que se tornaram obsoletas, caindo em desuso: a máxima, a longa e a breve.

Tabela 4 Duração das notas musicais

Nome português	Nome americano ⁷	Figura	Valor relativo
Semibreve	<i>Whole note</i>		1
Mínima	<i>Half note</i>		$\frac{1}{2}$
Semínima	<i>Quarter note</i>		$\frac{1}{4}$
Colcheia	<i>Eighth note</i>		$\frac{1}{8}$
Semicolcheia	<i>Sixteenth note</i>		$\frac{1}{16}$
Fusa	<i>Thirty-second note</i>		$\frac{1}{32}$
Semifusa	<i>Sixty-fourth note</i>		$\frac{1}{64}$

Na Figura 29 está representado um esquema que exemplifica a relação entre as durações das notas.

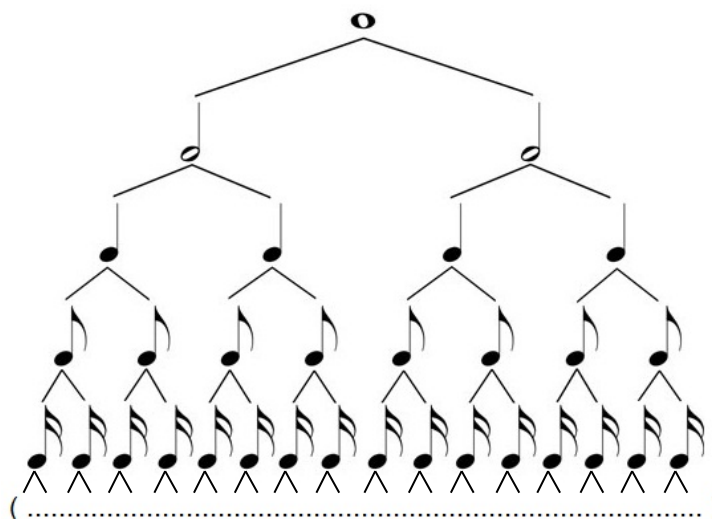


Figura 29 Relação entre as durações das notas

⁷ Existe ainda a nomenclatura britânica, respetivamente: *semibreve*, *minim*, *crotchet*, *quaver*, *semiquaver*, *demisemiquaver* e *hemidemisemiquaver*.

3.4. TIMBRE

Os sons que têm a mesma altura e intensidade podem ainda ter outra característica que os distingue de outros: o timbre. As ondas sonoras com diferentes timbres geram sensações variadas ao ouvido humano não podendo assim ser ignorada esta característica.

Quando o som é produzido por diferentes instrumentos musicais, podem identificar-se os sons como sendo a mesma nota, mas as suas características sonoras são muito diferentes. Além do formato da onda, o modo como se ouve o som também influencia o timbre dos instrumentos.

Quando um objeto produz sons, são produzidas várias ondas sinusoidais. A frequência mais baixa é a nota fundamental mas também são criados outros sobretons e que podem incluir harmónicos. Os harmónicos são criados a partir de múltiplos da frequência fundamental. Somando-se a amplitude da frequência fundamental à dos harmónicos, a forma da onda deixa de ser sinusoidal. Assim, cada instrumento produz uma forma de onda diferente. [16]

A Figura 30 apresenta alguns timbres de diferentes instrumentos.

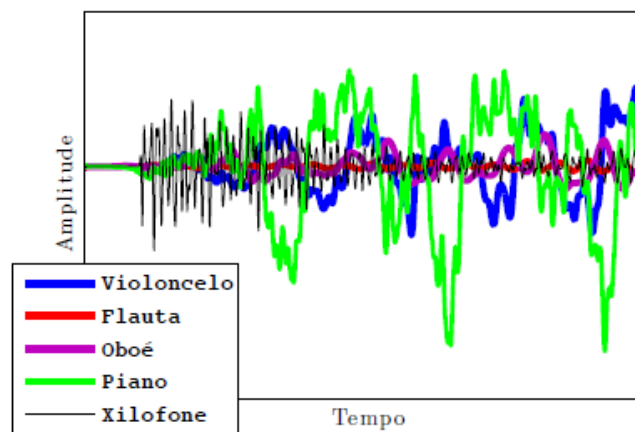


Figura 30 Formatos de onda de alguns instrumentos

Além da forma da onda existe um segundo aspeto que determina o timbre de um instrumento: o envelope sonoro. O envelope sonoro depende da forma como o som começa, se mantém e termina ao longo do tempo. [17]

O envelope sonoro tem 4 momentos principais:

- **Ataque:** o início de cada nota;
- **Decaimento:** após o ataque ocorre um decaimento até que o som estabiliza;

- **Sustentação:** a duração da nota pelo instrumento; pode ser controlado pelo músico na maioria dos casos mas em alguns instrumentos, principalmente os de percussão, isso não é possível;
- **Relaxamento:** fim da nota, quando a intensidade diminui; pode ser brusco ou lento.

Esses momentos são importantes para a identificação de um certo instrumento. Seria muito difícil reconhecer o som de um piano se tivesse um ataque lento, já que um ataque rápido quando se pressiona uma tecla é bastante característico deste instrumento.

De acordo com estes momentos principais, pode-se perceber também que a acústica de um ambiente pode ter influência no timbre de instrumento. Isso ocorre principalmente em relação à duração que estes momentos têm em diferentes ambientes.

3.5. OUTROS CONCEITOS

Outros conceitos também são importantes para a compreensão deste trabalho.

- **Notas e frequências:** A ideia de nota pode-se referir ao símbolo usado para representar uma altura tonal e duração ou à altura tonal de uma certa nota. Notas são a “discretização” de fenômenos musicais que facilitam a execução, compreensão e análise musical. [5] A relação entre alturas tonais e frequências é logarítmica, como se pode verificar anteriormente, na Tabela 2.

Já foi referido como é importante frisar que uma nota não é sinónimo de frequência. A nota é uma percepção do ouvido humano, enquanto a frequência é uma noção física que se pode verificar, por exemplo, num osciloscópio. [18]

- **Percussão:** instrumentos de percussão são normalmente aqueles que produzem sons quando são batidos com a mão, varas, ou são sacudidos. Apesar de ser um conceito relativamente aberto, estes instrumentos incluem baterias, xilofones, sinos ou chocalhos.

Os instrumentos de percussão podem ter altura determinada ou não. Os instrumentos de altura indeterminada são usados normalmente para funções rítmicas pelos seus timbres. Neste tipo de instrumento, a altura tonal dos sons não pode ser bem determinada por motivos diversos. Isso faz com que estes instrumentos possam acompanhar bem uma música independente da harmonia da música em questão.

Já instrumentos de percussão de altura determinada permitem a afinação das suas notas. Esses instrumentos podem fazer o papel melódico ou harmônico de uma música, além da função meramente rítmica dos instrumentos de altura indeterminada.

- **Melodia:** uma sequência de notas musicalmente satisfatória pode ser considerada uma melodia. Uma melodia pode ser descrita por suas notas e tempos de execução. A melodia precisa fazer sentido musicalmente e seus sons normalmente têm diferentes durações. Assim, uma sequência aleatória de notas não pode ser considerada uma melodia. A Figura 31 apresenta um exemplo de melodia, com sua respectiva harmonia acima da pauta e letra abaixo. A sucessão de notas de uma melodia deve ser percebida como uma entidade única.

The image shows a musical score for the song "Parabéns a Você". It consists of two staves. The top staff is the melody, written in treble clef with a common time signature (C). The notes are: C4 (quarter), D4 (quarter), E4 (quarter), F4 (quarter), G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), C5 (quarter), B4 (quarter), A4 (quarter), G4 (quarter), F4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter), C4 (quarter). Above the staff are chord symbols: C above the first measure, G above the second measure, and C above the third measure. The bottom staff is the harmony, also in treble clef. The notes are: C4 (half), F4 (half), G4 (quarter), A4 (quarter), B4 (quarter), C5 (quarter), B4 (quarter), A4 (quarter), G4 (quarter), F4 (quarter), E4 (quarter), D4 (quarter), C4 (quarter). Above the staff are chord symbols: F above the first measure, C above the second measure, G above the third measure, and C above the fourth measure. The lyrics are written below the staves: "Pa-ra-béns pra vo - cê Ne-ssa da - ta que - ri - da Mui-tas fe - li - ci - da - des Mui-tos a - nos de vi - da".

Figura 31 Exemplo de melodia de “Parabéns a Você”

- **Motivo:** é uma ideia musical ou fragmento musical recorrente, de alguma importância ou característica na composição. O motivo pode ter aspectos melódicos, harmônicos ou rítmicos, porém é normalmente imaginado em termos melódicos. [5]
- **Harmonia:** é o uso simultâneo de várias alturas tonais. Músicas orientadas por harmonias que se movem em progressões são uma marca forte da música ocidental. O estudo da harmonia envolve progressões de acordes que normalmente governam a música. A harmonia é o aspecto vertical da música, enquanto a melodia define o seu aspecto horizontal. [19]

Existem algumas tradições na música ocidental que implicam em certas regras harmônicas.

Apesar da harmonia se tratar de notas que soam simultaneamente, é possível deduzir uma harmonia através de uma melodia que faça o uso de arpejos. Há várias peças que contêm a harmonia implícita na sua melodia.

Na Tabela 5 estão os nomes dos intervalos mais comuns entre as notas.

Tabela 5 Intervalos de notas mais comuns

Tónica	Terceira Maior	Terceira Menor	Quinta
C	E	E ^b	G
D ^b	F	F ^b	A ^b
D	F [#]	F	A
E ^b	G	G ^b	B ^b
E	G [#]	G	B
F	A	A ^b	C
F [#]	A [#]	A	C [#]
G	B	B ^b	D
A ^b	C	C ^b	E ^b
A	C [#]	C	E
B ^b	D	D ^b	F
B	D [#]	D	F [#]

As combinações de notas com os seus intervalos (acordes) definem a harmonia. Por exemplo, no acorde C, há 3 notas: C, E e G. Cada nota representa um grau da escala e pode ser utilizada para formar um acorde.

Nenhuma nota corresponde sempre ao mesmo grau da escala, já que a nota tónica pode ser qualquer uma das 12 notas. Enquanto os nomes das notas são fixos, o conceito de intervalo é relativo. Isto significa que qualquer música pode ser tocada em qualquer tom. A música será sempre a mesma, desde que os intervalos utilizados sejam os mesmos.

A Tabela 6 mostra um exemplo dos graus das escalas de dó, mi e sol. Quando os intervalos ultrapassam o oitavo grau, estes são denominados intervalos estendidos.

Tabela 6 Exemplos de graus de intervalos

Grau	1	2	3	4	5	6	7	8
	C	D	E	F	G	A	B	C
Nota	D	E	F [#]	G	A	B	C [#]	D
	G	A	B	C	D	E	F [#]	G

Os intervalos podem ser consonantes ou dissonantes.

Os intervalos consonantes são o uníssono, a oitava, a quinta, a quarta e as terceiras maiores e menores. O terceiro deles é considerado imperfeito enquanto o segundo é considerado perfeito. Em alguns casos, o intervalo de quarto grau pode ser considerado dissonante.

- **Intervalos:** a combinação de duas notas - também chamada de díade - forma um intervalo. Os intervalos verticais, quando duas notas ocorrem ao mesmo tempo, referem-se à harmonia. Podem ser classificados em relação à distância entre as notas. Os intervalos horizontais - ou lineares -, relacionam-se com a melodia, quando uma nota é executada após a outra. Pode ser classificado ascendente, se a segunda nota é mais aguda que a primeira, ou descendente, no caso inverso. O intervalo horizontal é considerado conjunto se as notas têm uma distância tonal de 1 ou 2 semitons.

- **Acordes:** é um conjunto de notas que têm relação harmónica e são percebidos como soando em conjunto. As notas podem soar simultaneamente ou sucessivamente. Os acordes mais comuns são os compostos de 3 notas (tríades).

As notas que formam o acorde são normalmente definidas pela nota principal, a fundamental, e dois ou mais intervalos. O acorde pode ser entendido mesmo quando todas as suas notas não podem ser ouvidas simultaneamente.

As quartas, quintas e oitavas eram consideradas intervalos perfeitos e as tríades maiores e menores tornaram-se a sonoridade padrão na música ocidental. Tais tríades podem ser descritas com uma nota fundamental, a sua terceira e a sua quinta. O que define se o acorde é menor ou maior é se a sua terceira é menor ou maior.

Tendo que a escala de dó é C D E F G A B C, o acorde C maior (a tríade de dó), será o próprio C (nota fundamental), E (terceira) e G (quinta). O acorde é maior, pois o intervalo de C para E é de dois tons. Um acorde com a fundamental em D poderia ser construído utilizando-se a mesma escala (D F A). Este acorde, porém, seria denominado D menor, já que o intervalo entre D e F é de apenas um tom e meio (3 meios tons). Qualquer tríade construída com esta escala será menor ou maior, com exceção da tríade de B, que será diminuta.

Os acordes de 4 notas, com sétimas também são amplamente utilizados. Uma vasta quantidade de música contemporânea é produzida com combinações tríades e acordes com 7^as. Algumas exceções incluem música clássica moderna e *Jazz*, que frequentemente incluem acordes de pelo menos 5 notas.

Os acordes podem ser classificados em relação ao número de notas. Segundo alguns autores, intervalos de apenas duas notas não devem ser considerados acordes, sendo assim denominados de díades ou intervalos. Porém, os acordes normalmente utilizados na música ocidental estão de tal forma enraizados como conceito, que díades ou simplesmente melodias podem ser ouvidas com acordes implícitos, já que o cérebro pode “completar” o acorde. Isso faz com que alguns autores não sejam tão restritivos em relação ao número mínimo de notas de um acorde. [20]

Outra classificação útil para acordes é a relativa aos graus da escala. No tom de dó maior, o primeiro grau da escala (denominado tônica) é o próprio dó. Assim, o acorde dó maior, construído sobre a primeira nota, pode ser anotado com o número romano I. Mesmo que o acorde de dó maior seja encontrado noutras escalas – como nas escalas de lá menor ou sol maior –, ele será marcado com diferentes números. Essa numeração permite entender a função do acorde na tonalidade corrente.

O acorde normalmente tem a nota fundamental como a nota mais grave. Quando isto não acontece, o acorde pode ser definido como invertido.

Existem quatro tipos básicos de tríades que estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 Quatro tipos básicos de tríades

Tríade	Terceira	Quinta	Exemplo	Símbolos
Maior	Maior	Perfeita	C-E-G	C, CM, Cma, Cmaj
Menor	Menor	Perfeita	C-E ^b -G	Cm, Cmi, Cmin, C-
Aumentada	Maior	Aumentada	C-E-G#	C+, C+, C ^{aug}
Diminuta	Menor	Diminuta	C-E ^b -G ^b	Cm(b5), C ^o , Cdim

Já os acordes com sétima são construídos pela adição de uma quarta nota à tríade. Existem vários tipos de acordes de sétimas e eles dependem da tríade e da sétima adicionada (que pode ser maior ou menor).

Os acordes estendidos são aqueles que têm notas além da sétima nota da escala, como a nona, a décima-primeira ou a décima-terceira. Estes acordes são construídos com adição de notas que estão fora das sete notas iniciais da escala diatônica.

As notas aqui citadas para compor um acorde podem também ser alteradas por acidentes. Estas marcações são feitas nas notas que são mudadas. Estes acordes são denominados de acordes alterados.

Em alguns acordes, a terceira pode dar lugar a uma outra nota vizinha, a segunda ou a quarta. Estes são os acordes suspensos.

- **Ritmo:** na terminologia musical, o ritmo define como os sons e silêncios são organizados no tempo. Na música ocidental está sempre relacionado com uma métrica. A duração de cada unidade de pulso é o tempo. O tempo é uma medida de quão rápido os pulsos devem fluir.

Diferentes estilos de música fazem uso diferente do ritmo e a notação musical pode ter informação adaptada para instrumentos de percussão de altura tonal indefinida. Estes instrumentos são muitas vezes utilizados para manter os outros instrumentos respeitando a métrica.

- **Compasso:** os pulsos de uma música têm uma duração definida pelo tempo da música e podem ser agrupados em segmentos chamados compassos. Uma música normalmente consiste em vários compassos com o mesmo tamanho e o número de pulsos de cada compasso é especificado no começo da partitura. A fórmula do compasso é escrita no início da composição e quando ocorre mudança de fórmula. [21]

O numerador da fórmula do compasso indica o número de pulsos de um compasso enquanto o denominador indica em quantas partes uma semibreve deve ser dividida para formar uma unidade de tempo. A Figura 32 mostra, por exemplo, a fórmula de um compasso 4/4. Isso quer dizer que uma unidade de tempo tem duração de 1/4 da semibreve e o compasso tem 4 unidades de tempo.



Figura 32 Exemplos de Fórmulas de Compasso

Na verdade, os conceitos de numerador e denominador não podem ser aplicados a fórmulas de compasso. O numerador e denominador devem estar com um traço e têm a função de dividir o valor do numerador pelo do denominador. Já numa fórmula de compasso 2/4 não se pode multiplicar o numerador e o denominador por um dado número e obter uma fórmula equivalente.

Em termos computacionais, um compasso pode ser especificado pelos elementos η_i , t_i , δ_i , onde η_i representa a altura tonal de uma nota, t_i a sua posição de início no tempo, δ_i a sua duração e $i = 1, \dots, n$ é o número de notas num compasso.

- **Timbre:** como visto anteriormente são as características ou qualidades do som, distintas da altura tonal e intensidade. O timbre diferencia o som de diferentes instrumentos, mesmo quando executam a mesma nota.
- **Formas musicais:** além dos elementos básicos, os sons também podem ser organizados em estruturas de mais alto nível. Estas estruturas podem ser predefinidas, como *blues* de 12 compassos ou formas de sonatas, levando a formas de composição *top-down*. Vários compositores ignoram estas estruturas e compõe de maneira *bottom-up*, ou seja, iniciando com elementos de mais baixo nível. Assim, notas podem formar frases, que por sua vez, formam versos. Todavia, as estruturas musicais tendem a ser hierárquicas. Porém, nem sempre as estruturas formadas pelo compositor e pelo ouvinte são iguais.

4. COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA

A Computação Evolucionária (CE) é um dos progressos mais emocionantes no âmbito das Ciências da Computação. Equivale à construção, aplicação e estudo de algoritmos baseados nos princípios darwinianos de seleção natural. Mais adiante, será feita uma breve introdução aos principais conceitos que fundamentam a CE: a apresentação dos principais componentes dos algoritmos evolucionários (AE), as diferenças entre diferentes tipos de áreas de AE e o levantamento das áreas de aplicação, que vão desde a otimização, modelação e simulação, até ao entretenimento. [22]

Surpreendentemente, a ideia de aplicar princípios darwinianos para a resolução de automatizada de problemas teve origem nos anos cinquenta, muito antes do advento dos computadores. [22]

Durante os anos sessenta foram desenvolvidas três implementações diferentes dessa ideia, em três locais diferentes. Nos EUA, Fogel introduziu a programação evolucionária, enquanto Holland batizou o seu método de Algoritmo Genético (AG). Na Alemanha, Rechenberg e Schwefel inventaram as estratégias de evolução. Durante cerca de 15 anos, essas áreas foram sendo desenvolvidas separadamente e foi a partir do início dos anos

noventa que elas passaram a ser vistas como diferentes representantes (pode dizer-se, dialetos) de uma só tecnologia, denominada de Computação Evolucionária. Foi também no início dos anos noventa que emergiu uma quarta corrente de ideias na área – a programação genética. A terminologia contemporânea admite todas essas matérias como Computação Evolucionária, considerando programação evolucionária, estratégias de evolução, algoritmos genéticos, programação genética como subáreas. [22]

Tal como referido anteriormente, a computação evolucionária é uma área das Ciências da Computação que se inspira na teoria da evolução das espécies de Charles Darwin e na biologia molecular para a formulação de modelos computacionais que, por sua vez, são utilizados no desenvolvimento de sistemas de resolução de problemas. Existem vários modelos computacionais evolucionários que foram propostos e estudados, e aos quais se dá o nome de algoritmos evolucionários. Estes algoritmos têm em comum o facto de simularem a evolução de um conjunto de estruturas individuais, através de processos de seleção e reprodução que dependem do desempenho dessas estruturas num determinado ambiente. A avaliação do desempenho é efetuada visando um determinado objetivo, sob a forma de um critério de qualidade que é utilizado para medir e comparar um conjunto de candidatos a soluções num processo de refinamento progressivo. Se o processo for bem-sucedido, é devolvida uma solução ótima ou quase ótima. Neste aspeto, estes algoritmos são mais parecidos com o “aperfeiçoamento” de raças efetuado, por exemplo, pelos criadores de animais, onde também existe um determinado critério de qualidade. [23]

4.1. O QUE É UM ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO?

A teoria da evolução das espécies de Darwin e a biologia molecular não só serviram de inspiração à área da computação evolucionária como lhe emprestaram algum do seu vocabulário. Iremos, pois, agora introduzir alguns termos da biologia molecular de modo a facilitar a compreensão da descrição do funcionamento de um algoritmo evolucionário bem como dos vários modelos existentes:

- Os cromossomas consistem em cadeias de ADN (Ácido Desoxirribonucleico) constituídas por genes que codificam determinadas características dos indivíduos;
- Os diferentes valores que cada gene pode tomar designam-se por alelos;
- O conjunto de todo o material genético denomina-se genoma. Designa-se por genótipo o conjunto de genes contido no genoma;

- Os cromossomas são entidades orgânicas que codificam o fenótipo de um indivíduo, que corresponde às suas características observáveis.

No que aos algoritmos evolucionários diz respeito, o termo cromossoma é utilizado, normalmente, para designar um indivíduo candidato a solução, identificando-se com este. Dependendo do modelo de algoritmo evolucionário utilizado e/ou do problema a resolver, os cromossomas podem tomar várias formas como sejam, sequências de símbolos (binários, reais, alfanuméricos, etc.), grafos etc. Cada cromossoma será, por sua vez, constituído por um conjunto de genes, cada um representando uma determinada característica do indivíduo. Cada gene pode tomar diferentes valores, sendo que diferentes genes podem ter domínios diferentes. Os valores que cada gene pode tomar designam-se por alelos. [24]

A ideia comum, subjacente a todas estas técnicas é a mesma: dada uma população de indivíduos, a pressão ambiental provoca a seleção natural (sobrevivência do mais apto) e por este meio, a *fitness* (função de avaliação) da população vai crescendo. É fácil olhar para esse processo como otimização. Dada uma função objetivo a ser maximizada, pode-se criar aleatoriamente um conjunto de soluções candidatas e usar a função objetivo como uma medida de *fitness* abstrata (quanto maior, melhor). Com base nessa *fitness*, alguns dos melhores candidatos são escolhidos para a próxima geração através da aplicação de recombinação e/ou mutação.

A recombinação é aplicada a dois candidatos selecionados, denominados de pais, e resulta em um ou dois novos candidatos, os filhos, enquanto a mutação é aplicada a um candidato e resulta num novo candidato. A aplicação de recombinação e mutação leva a um conjunto de novos candidatos, a descendência. Tendo em conta a sua aptidão (*fitness*), estes descendentes competem com os candidatos mais antigos por um lugar na próxima geração. Este processo pode ser repetido até que uma solução seja encontrada ou seja atingido um limite de tempo previamente definido.

Note-se que muitos componentes de tal processo evolucionário são estocásticos. De acordo com Darwin, o aparecimento de novas espécies, adaptadas ao seu ambiente, é uma consequência da interação entre a sobrevivência do mais apto mecanismo e variações sem direção específica. Os operadores variação devem ser estocásticos e a escolha de que pedaços de informação serão trocados durante a recombinação, bem como as mudanças

ocorridas durante a mutação numa solução candidata, são aleatórias. Por outro lado, os operadores de seleção tanto podem ser determinísticos como estocásticos. No último caso, os indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de serem selecionados do que os menos aptos, mas normalmente mesmo os indivíduos fracos têm uma hipótese de se tornarem pais ou de sobreviver. [23]

Na Figura 33 pode observar-se a representação esquemática de um Algoritmo Genético.

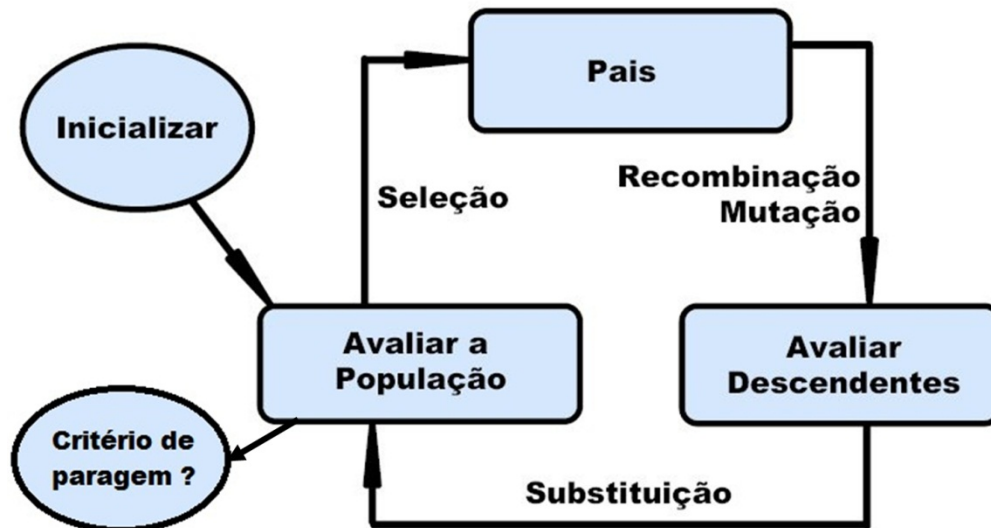


Figura 33 Esquema de um Algoritmo Genético

Um AG pode ser descrito conforme o seguinte pseudocódigo simplificado:

```

t = 0.
gerar_população_inicial (P(t)).
avaliar (P(t)).
Enquanto critério de paragem não satisfeito faz
  P'(t) = seleccionar(P(t)).
  P''(t) = aplicar_operadores_genéticos(P'(t)).
  P(t + 1) = criar_população_seguinte(P(t), P''(t)).
  avaliar(P(t + 1)).
  substituir(P(t) por P(t + 1)).
  t = t + 1.
FimEnquanto
Devolver melhor indivíduo.
  
```

Pode considerar-se que este código representa um algoritmo que se enquadra na categoria *generate-and-test*, também conhecidos como algoritmos *trial-and-error*. A função de *fitness* representa uma estimativa heurística de qualidade da solução e o processo de pesquisa é conduzido pelos operadores de variação (recombinação e mutação, criando novas soluções candidatas) e os operadores de seleção. Os algoritmos evolucionários (AE) são distintos dentro da família do método *generate-and-test* por serem de base

populacional. Isto é, processam todo um conjunto de soluções candidatas e pelo uso da recombinação, misturam informações de duas soluções candidatas.

Os outros "dialetos" da computação evolucionária, já mencionados anteriormente, seguem os contornos gerais acima descritos, diferindo em alguns aspetos como no esquema de representação, nos operadores, ou nos métodos de seleção.

4.2. QUESTÕES IMPORTANTES

Existem algumas questões que devem ser tidas em conta ao projetar e executar um algoritmo evolucionário. Uma questão crucial durante a execução de um AE é a tentativa de preservar a diversidade genética da população o maior tempo possível. Ao contrário de muitos outros métodos de otimização, os AE usam uma população de indivíduos – e esta é uma das razões para o seu potencial. No entanto, se essa população começar a concentrar-se numa região muito reduzida do espaço de pesquisa, todas as vantagens de se lidar com muitos indivíduos diferentes desaparecem, enquanto o ónus da computação das suas respectivas funções *fitness* permanece. Há duas direções principais para evitar isso: assegurar *a priori* a criação de material novo, utilizando por exemplo, um alto nível de mutação; ou *a posteriori* manipular a *fitness* de todos os indivíduos para criar um preconceito contra candidatos existentes que sejam semelhantes, ou quase. Uma técnica bem conhecida é o denominado mecanismo *niching* (*niching mechanism*).

A diversificação (*exploration*) e a intensificação (*exploitation*) são dois termos frequentemente utilizados em CE. Embora as definições não estejam bem nítidas, tem havido muita discussão em torno destes termos. O dilema, quando se trata de um procedimento de otimização, é saber se a pesquisa em volta das até então melhores soluções (esperando que a vizinhança possa conter pontos ainda melhores) ou explorar algumas regiões totalmente diferentes do espaço de pesquisa, uma vez que as melhores soluções até então podem tratar-se apenas de ótimos locais. Um AE deve ser configurado de maneira a resolver este dilema sem conhecimento *a priori* do tipo de espaço que terá de explorar. A fase de intensificação (*exploitation phase*) pode, às vezes, ser "delegada" a algum procedimento de otimização local, quer seja chamado como um operador de mutação, ou sistematicamente aplicado a todos os indivíduos recém-nascidos, movendo-os para o ótimo local mais próximo. Neste último caso, o algoritmo híbrido resultante é chamado de algoritmo memético.

Em suma, há duas forças motrizes por trás de um AE: a seleção e a variação. A primeira representa um impulso para a qualidade e reduz a diversidade genética da população. A segunda, implementada pelos operadores de recombinação e mutação, representa um impulso em direção à novidade e ao aumento da diversidade genética. Para se ter um AE a funcionar corretamente, tem de ser mantidos um equilíbrio apropriado entre estas duas forças. No entanto, neste momento, não há muita teoria de apoio a projetos práticos de AE.

4.3. ELEMENTOS DE UM ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO

4.3.1. REPRESENTAÇÃO

A resolução de um determinado problema com AE começa com a especificação de uma representação dos indivíduos candidatos a solução. Essas soluções admissíveis são vistas como fenótipos que podem ter estruturas muito complexas. Assim, aplicar operadores de variação diretamente a estas estruturas pode não ser possível, ou fácil. Portanto, esses fenótipos são representados por genótipos correspondentes. A “maquinaria” padrão da CE consiste de muitos operadores de variação prontos a usar, agindo num espaço específico de um genótipo, por exemplo vetores de valores reais, permutações de inteiros, ou árvores. Assim, projetar um AE equivale muitas vezes a escolher uma das representações padrão, com os respetivos operadores de variação em mente. No entanto, uma das forças dos AE é a sua capacidade para enfrentar qualquer espaço de pesquisa desde que os operadores de inicialização e variação estejam disponíveis.

4.3.2. FITNESS OU FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO

A seleção com base na função *fitness* é a força que representa o rumo em direção às melhorias de qualidade de um AE. A construção da função de *fitness* (ou função de avaliação) é, portanto, crucial.

A primeira característica importante sobre a computação da *fitness* é que ela representa 99% do custo total computacional da evolução na maioria dos problemas do mundo real. Em segundo lugar, a função de *fitness* é muitas vezes a única informação sobre o problema no algoritmo: Qualquer conhecimento disponível e utilizável sobre o domínio do problema deve ser utilizado.

4.3.3. INICIALIZAÇÃO

A população inicial é geralmente criada por alguma amostragem aleatória do espaço de pesquisa e realizada de forma o mais uniforme possível. No entanto, em alguns casos, a amostragem uniforme pode não ser bem definida, por exemplo, em intervalos ilimitados para números de vírgula flutuante. Uma prática comum também é colocar algumas boas soluções conhecidas na população inicial. Mas atenção que nenhuma tendência é melhor do que uma tendência errada! [22]

4.3.4. OPERADORES GENÉTICOS

A criação de novos indivíduos através das gerações é feita pelos operadores genéticos, que possibilitam que não só os indivíduos iniciais sejam testados mas que também ocorra de facto, um processo evolutivo. Os operadores mais comuns são os de cruzamento e mutação, embora possa surgir diferentes operadores mais complexos, dependendo da área de aplicação.

Estes operadores podem ser cegos ou guiados, ou seja, podem não ocorrer de forma totalmente aleatória. Isto pode ajudar em aplicações musicais já que nem sempre as transformações totalmente aleatórias são bem-vindas. Se o gene é uma nota musical, por exemplo, as mutações podem ser guiadas para que certas regras harmónicas ou melódicas não sejam quebradas no processo.

O processo de cruzamento, por regra, baseia-se em criar um ponto de corte que possa unir um elemento ao outro para criar um novo indivíduo, enquanto a mutação, normalmente é feita através da troca de valor de um gene qualquer. Na Figura 34 está um exemplo básico destes operadores.

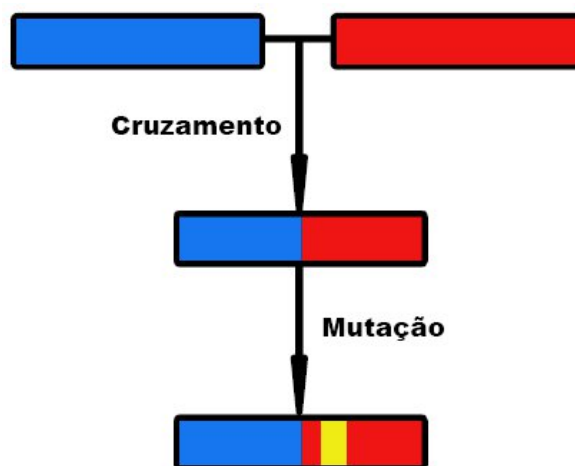


Figura 34 Operadores Genéticos

4.3.5. CRUZAMENTO

No operador de cruzamento tradicional é escolhido um ponto de corte aleatório para a divisão dos pais e formação dos filhos. Deste modo, o potencial da população pode ser muito bem explorado já que mais combinações entre os pais podem ser formadas e os filhos podem ter fenótipos bem diferentes dos pais. Esta é uma boa abordagem para problemas de otimização e a problemas musicais que se reduzem a otimização, como combinação de sons e harmonia.

4.3.6. MUTAÇÃO

O operador de mutação é utilizado para que mais soluções do espaço de pesquisa possam ser exploradas e é normalmente feito com uma simples mudança do valor de um gene qualquer do indivíduo (*bit-flip*).

Os operadores de mutação são transformações estocásticas de um indivíduo. O habitual compromisso entre diversificação (*exploration*) e intensificação (*exploitation*) deve ser mantido: grandes mutações são necessárias por razões teóricas (garantem a “ergodicidade” do processo estocástico subjacente) que se traduzem na prática (é a única maneira de reintroduzir a diversidade genética no final da evolução), mas é claro mutações muito grandes ou em excesso acabam por transformar o algoritmo em algo completamente aleatório – assim, a maioria das mutações deve gerar filhos parecidos com os seus pais.

Não há uma mutação geral padrão, mas as tendências gerais são para modificar o valor de um componente do genótipo com uma pequena probabilidade (por exemplo, alterar um *bit* de uma cadeia de *bits*). [22]

4.3.7. CRITÉRIO DE PARAGEM

Há muito poucos estudos teóricos sobre quando parar um algoritmo evolucionário. O critério de paragem habitual é uma quantidade fixa de tempo de computação. Um critério um pouco mais subtil é parar quando um valor de tempo definido pelo utilizador terminou, sem melhoria na melhor *fitness* da população.

4.3.8. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

Os algoritmos evolucionários têm normalmente um grande número de parâmetros (por exemplo, tamanho da população, a frequência de recombinação, a pressão seletiva...). O

principal problema a este respeito é que mesmo o efeito individual de um parâmetro é muitas vezes imprevisível. A maioria dos autores levam a cabo ensaios intensivos para calibrar os algoritmos – uma opção que claramente consome muito tempo. Outra possibilidade é a utilização de técnicas estatísticas como a análise de variância. A tendência evolucionária específica consiste em deixar o AE autocalibrar-se para um determinado problema, enquanto resolve esse mesmo problema.

4.3.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como em qualquer algoritmo aleatório, os resultados de uma única execução de um AE não têm sentido. A análise experimental típica é efetuada cerca de mais de 15 execuções independentes (tudo igual, exceto a população inicial) e apresenta médias, desvios-padrão, e T-testes em caso de experiências comparativas.

No entanto, algo deve distinguir os problemas: onde o objetivo é encontrar pelo menos uma solução muito boa uma vez, numa otimização dia-a-dia (por exemplo, controlo, programação...), onde o objetivo é encontrar sempre uma boa solução para diferentes *inputs*. No contexto de projeto, um desvio padrão elevado é desejável, desde que o resultado médio não seja tão mau. No contexto de otimização, uma boa média e um desvio padrão pequenos são obrigatórios. [22]

4.4. PRINCIPAIS MODELOS DE ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS

Tal como referido anteriormente, existem quatro modelos principais de computação evolucionária e entre estes algoritmos denotam-se algumas diferenças.

4.4.1. ESTRATÉGIAS EVOLUCIONÁRIAS

O modelo das estratégias evolucionárias foi desenvolvido por Rechenberg e Schwefel durante os anos 60 para problemas de otimização de um conjunto de parâmetros reais.

Em 1981, Schwefel introduziu o operador de recombinação, bem como populações com mais de um indivíduo. Também neste modelo o operador de mutação é adaptado à medida que o algoritmo vai sendo executado.

Depois da inicialização, são selecionados aleatoriamente N indivíduos aos quais são aplicados os operadores de recombinação e mutação de modo a serem produzidos M descendentes, tal que $M > N$. A operação de seleção é depois tipicamente realizada

utilizando um dos dois seguintes métodos. O primeiro seleciona simplesmente os N melhores descendentes para passar à próxima geração. O segundo seleciona os N melhores indivíduos de entre os N progenitores e os M descendentes.

4.4.2. PROGRAMAÇÃO EVOLUCIONÁRIA

A programação evolucionária foi desenvolvida por Lawrence Fogel em 1966 com o objetivo de gerar máquinas de estados finitos para tarefas de prognóstico de sequências de símbolos. Atualmente é utilizada sobretudo em problemas de otimização numérica. A representação dos indivíduos é normalmente dependente do tipo de problema que se queira resolver: Na versão original, por exemplo, cada indivíduo era uma máquina de estados finitos representada por um grafo. Em problemas de otimização numérica, os indivíduos são representados por vetores de valores reais e para o problema do caixeiro-viajante, por exemplo, são utilizadas listas ordenadas. Os operadores de mutação também são definidos consoante o problema e estão sujeitos a adaptação durante o processo evolutivo. A recombinação não é normalmente utilizada, dada a flexibilidade existente na definição dos operadores de mutação.

A primeira operação do processo evolutivo, depois de criada a população inicial, consiste na aplicação de um ou mais operadores de mutação a todos os indivíduos da população. Do resultado desta operação, é formada uma população intermédia, de tamanho $2 \times N$, constituída pelos progenitores e pelos seus descendentes. Depois, todos os indivíduos desta população são avaliados, sendo selecionados apenas os N melhores para passar à geração seguinte. Repare-se que, neste processo, a aplicação de operadores genéticos é realizada a todos os elementos da população atual antes da operação de seleção. [23]

4.4.3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Os algoritmos genéticos foram desenvolvidos por John Holland em 1975. O algoritmo original tem como principais características o facto de cada indivíduo ser representado por uma sequência binária de 1's e 0's de tamanho fixo e de utilizar sobretudo o método de seleção proporcional ao desempenho. Este método de seleção é, aliás, um dos elementos chave de um teorema formulado por Holland cuja ideia fundamental é a de que um algoritmo genético é capaz de combinar, através da aplicação repetida dos operadores de recombinação e de mutação, os elementos (os chamados blocos construtores) que constituem uma solução ótima.

Como em qualquer outro modelo evolucionário, a escolha da representação e da codificação dos indivíduos é uma tarefa chave para o sucesso da aplicação do algoritmo. Quando se utiliza um algoritmo genético, cada sequência deve ser codificada de modo que a cada símbolo, ou grupo de símbolos, seja atribuído um determinado significado, estabelecendo-se assim um mapeamento de cada indivíduo no espaço de pesquisa. Embora a representação baseada em alfabetos binários seja ainda hoje a mais comum, outras têm sido também utilizadas, como sejam as representações baseadas em vetores de números reais. Mais recentemente têm surgido também abordagens em que são utilizadas outras estruturas que não sequências de símbolos como, por exemplo, listas ou redes neuronais, para representar os indivíduos. Quanto ao tamanho dos cromossomas, existem várias abordagens que não utilizam um tamanho fixo. Nestas abordagens é permitido que os indivíduos tenham tamanhos diferentes e que este tamanho varie ao longo do processo evolutivo, uma vez que não se sabe, à partida, qual o tamanho ideal.

Durante alguns anos os algoritmos genéticos utilizaram preferencialmente os métodos de seleção proporcional ao desempenho. No entanto, devido às suas desvantagens, estes métodos têm vindo a perder terreno para outros como seja o método da seleção por torneio.

Seleção proporcional ao desempenho

Existem basicamente dois métodos de seleção proporcional ao desempenho. No método da roleta, a probabilidade de um indivíduo i ser selecionado é

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_j^N f_j}$$

em que N é o tamanho da população. Pode-se ver este mecanismo de seleção como se a cada indivíduo da população correspondesse uma fatia de uma roleta proporcional ao seu desempenho. A roleta é posta a girar N vezes e em cada uma é selecionado um indivíduo. Obviamente é esperado que o número de vezes que um indivíduo é selecionado seja proporcional ao seu desempenho. No entanto, isto nem sempre acontece, sobretudo em populações pequenas, podendo suceder que indivíduos fracos são selecionados bastante mais vezes do que seria esperado.

O método da amostragem universal estocástica procura resolver este problema colocando de uma vez só sobre a roleta N ponteiros igualmente distribuídos. Assim, um indivíduo será selecionado tantas vezes quantos os ponteiros que estiverem sobre a sua fatia, ou seja, nunca menos que o valor esperado truncado, e nunca mais que o valor esperado truncado e incrementado.

Os métodos de seleção proporcional ao desempenho têm algumas desvantagens relativamente a outros métodos, nomeadamente, porque as probabilidades de seleção dependem fortemente do escalonamento da função de desempenho. Pode-se tentar resolver este problema utilizando métodos de escalonamento que permitem adaptar os valores da função de desempenho à média da população. Existe ainda outro problema que deriva do facto de o desvio padrão do desempenho dos indivíduos no início da evolução ser, geralmente, alto. Nestas condições, os indivíduos com maior desempenho têm tendência para se multiplicar consideravelmente dominando rapidamente a população (nestes casos diz-se que a pressão seletiva é elevada) e impedindo a exploração de outras regiões do espaço de pesquisa.

Seleção por torneio

O método de seleção por torneio funciona repetindo N vezes o seguinte procedimento: escolhe-se aleatoriamente um número t de indivíduos da população e seleciona-se o melhor deste grupo. É frequente o torneio ser disputado entre dois indivíduos, embora se possa utilizar um valor maior para t , o tamanho do torneio. Quanto maior for este valor, maior será a pressão seletiva.

Este método tem como vantagem o facto de ser computacionalmente mais eficiente que os métodos já descritos pois não necessita de uma comparação centralizada entre todos os indivíduos. Esta característica permite acelerar consideravelmente o processo de evolução, além de que permite paralelizar facilmente o algoritmo. [23]

Nos algoritmos genéticos, os operadores genéticos mais utilizados são o operador de cruzamento e o operador de mutação, com especial relevo para o primeiro, cuja probabilidade de aplicação é, geralmente, alta. O operador de mutação, pelo contrário, é, normalmente, aplicado com uma probabilidade muito baixa. Existem vários tipos de cruzamentos, sendo os mais conhecidos o cruzamento (ou recombinação) de um corte, de

dois cortes e uniforme. A recombinação de um corte consiste em escolher aleatoriamente um ponto de corte em dois indivíduos diferentes previamente selecionados, trocando de seguida entre eles os segmentos situados num dos lados do corte. Na recombinação de dois cortes, é trocado o segmento situado entre dois pontos de corte definidos também aleatoriamente. Na recombinação uniforme existe uma probabilidade p de trocar cada uma das posições. O operador de mutação consiste em escolher aleatoriamente uma ou mais posições e substituir o valor dessas posições por outros.

A Figura 35 ilustra o funcionamento destes quatro operadores.

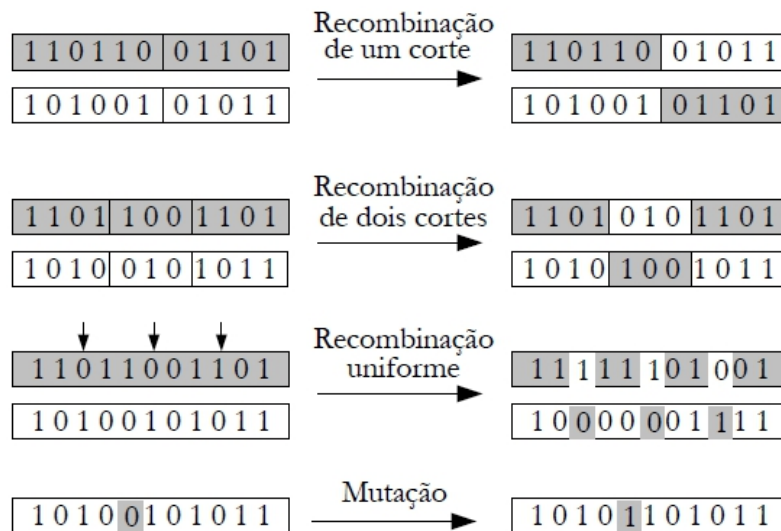


Figura 35 Operadores de recombinação e mutação mais utilizados nos AG

4.4.4. PROGRAMAÇÃO GENÉTICA

No início dos anos 90, alguns investigadores, entre os quais John Koza, introduziram a programação genética, cujo objetivo é a evolução de programas que resolvam um determinado problema. Com este modelo, em vez de se utilizar um sistema evolucionário que descubra uma solução para o problema, utiliza-se um sistema evolucionário que procure um programa que permita resolver o problema. Desta forma, a pesquisa deixa de ser feita no espaço de candidatos a soluções para o problema, e passa a ser realizada no espaço de possíveis programas.

4.5. ALGUMAS APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA

Podem ser encontradas aplicações da Computação Evolucionária em várias áreas, sendo de destacar:

- **Planeamento:** planeamento de rotas (caixeiro-viajante, veículos, problemas de transporte, robótica...), sequenciamento de tarefas, empacotamento, tabelas de horários, etc...
- **Projeto (*design*):** filtros, processamento de sinais, sistemas inteligentes, aplicações em engenharia, etc...
- **Simulação e identificação:** A simulação envolve a determinação de como um sistema se irá comportar baseado num modelo ou projeto deste sistema (por exemplo, a determinação de equilíbrio de sistemas químicos ou a determinação de estruturas de proteínas). A identificação envolve a determinação do projeto de um sistema dado seu comportamento (por exemplo, a determinação de polos e zeros de um sistema).
- **Controlo:** *off-line*, se um algoritmo evolutivo é utilizado para projetar um controlador que depois é utilizado para controlar um sistema; *on-line*, se um algoritmo evolucionário é utilizado como uma parte ativa do controlador.
- **Classificação:** os sistemas classificadores têm sido utilizados como partes de outros sistemas como, por exemplo, sistemas de controlo; os algoritmos evolutivos também têm sido aplicados a problemas de jogos (*game playing*).

A Computação Evolucionária é aplicada em muitas outras áreas, tão vastas como a Economia, a Biologia, o Processamento de imagens, ou mesmo a Música.

5. APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA NA MÚSICA

A Música Evolucionária (ME) é o contributo do áudio para a arte evolucionária, onde a música algorítmica é criada, utilizando algoritmos evolucionários. O processo começa com uma população de indivíduos que, de uma maneira ou de outra, produzem som, que pode ser inicializado aleatoriamente ou com base em músicas criadas pelo Homem. Então, através da aplicação repetida de iterações computacionais análogas às observadas na Natureza, (seleção, cruzamento e mutação) o objetivo é que o som produzido se torne, musicalmente, o mais agradável possível.

Como se pode facilmente deduzir, a ME é tipicamente gerada através da utilização de um algoritmo evolucionário interativo, onde a função de *fitness* é “avaliada” pelo utilizador ou público, visto ser difícil capturar e ajuizar computacionalmente sobre as qualidades estéticas da música. No entanto, estão em desenvolvimento investigações sobre formas automatizadas para medição de qualidade musical. Existem também experiências de

computação evolucionária aplicadas a tarefas como a harmonização e acompanhamento musical. As técnicas de computação evolucionária mais vulgarmente utilizadas são os algoritmos genéticos e a programação genética. [25]

5.1. BREVE HISTÓRIA

A Música Evolucionária remonta a 1991. Na altura, Gibson e Byrne criaram o NEUROGEN que empregava um algoritmo genético para produzir e combinar fragmentos musicais e uma rede neuronal (praticado em exemplos da música "real") para avaliar a sua adequação (*fitness*).

Um algoritmo genético é também uma parte essencial do sistema de improvisação e acompanhamento *GenJam*, que tem sido desenvolvido desde 1993 por Al Biles. Este e o sistema *GenJam* juntos são conhecidos como Quinteto Virtual Al Biles e têm realizado concertos para público humano.

Desde 1996, Rodney Waschka II tem vindo a utilizar algoritmos genéticos para a composição de música, incluindo obras como “Santo Ambrósio e os seus quartetos de cordas”.

Em 1997, Brad Johanson e Riccardo Poli desenvolveram o Sistema *GP-Music* que, como o nome indica (*genetic programming*), utilizava programação genética para produzir melodias de acordo tanto com classificações de humanos como automáticas.

Têm sido produzidos igualmente, vários sistemas para a evolução de *loops* de percussão (bateria, mais propriamente), incluindo um programa comercial *MuSing*.

Este tipo de atividades está a aumentar rapidamente, tal que uma série de artigos e de projetos envolvendo a CE e a arte da Música estão disponíveis na Internet. [25]

5.2. TRABALHOS RECENTES NESTE DOMÍNIO

Nos últimos anos esta área tem revelado uma série de evoluções e de novos conceitos e abordagens, pelo que ficam aqui apenas alguns dos desenvolvimentos operados nesta área, tanto ao nível de conferências e palestras internacionais, artigos redigidos, livros editados, bem como alguns programas de *software* mais conhecidos.

5.2.1. ARTIGOS

Ao longo das últimas duas décadas tem surgido uma panóplia de artigos relacionados com a Computação Evolucionária na Música. Aqui ficam alguns exemplos:

- Em **1995**, Bruce Jacob, à data na Universidade do Michigan, escreveu um artigo sob o título “*Composing with Genetic Algorithms*”, onde apresentou aplicação de algoritmos genéticos para o problema da composição musical, em que estes eram utilizados para produzir um conjunto de filtros de dados que identificavam “resultados aceitáveis” a partir da saída de um gerador (estocástico) de música. Eram apresentados o funcionamento do algoritmo de composição, bem como alguns exemplos de músicas.
- Em **1999**, uma equipa liderada por Geraint Wiggins (Universidade de Edimburgo) redigiu um artigo de título “*Evolutionary methods for musical composition*” onde debateram a utilização dos Algoritmos Genéticos na criação de música. Para além de explicar a estrutura de AG típico e delinear trabalhos já existentes nesse campo, Wiggins et al. propunham a adição de um domínio específico do conhecimento para melhorar a qualidade e a velocidade de produção de resultados do AG. No final, concluíram que os AG não eram ideais para a simulação do pensamento musical humano (não obstante a sua capacidade de produzir bons resultados), porque o seu funcionamento de modo algum simulava o comportamento humano.
- Em **2000**, Marques et al., do Instituto Superior Técnico (U. T. Lisboa) publicaram “*Music Composition Using Genetic Evolutionary Algorithms*”, onde defendiam a aplicação dos AG como uma forma possível de procurar a solução para problemas em espaços de pesquisa de grandes dimensões. Neste trabalho, os autores aplicaram esses métodos para a geração de sequências musicais, utilizando como função de *fitness* conceitos da teoria musical.
- Em **2001**, Michael Towsey et al., da *Queensland University of Technology* (Austrália) escreveram “*Towards Melodic Extension Using Genetic Algorithms*”. Neste artigo a equipa de Towsey advogava os AG como promissores para a composição musical, aliando criatividade com a capacidade de conter excessos

dessa mesma criatividade (pelo uso de restrições). As maiores dificuldades sentidas por Towsey e seus colaboradores eram ao nível da definição de funções de *fitness* que capturam as qualidades estéticas da grande variedade de melodias de sucesso.

- Em **2008**, para expor na conferência GECCO 2008 (ver secção 5.2.3), Tomasz Oliwa, do Centro de Inteligência Artificial da Universidade de Geórgia (EUA) escreveu o artigo “*Genetic Algorithms and the abc Music Notation Language for Rock Music Composition*” onde apresentava um sistema de composição de músicas baseado em AG. O sistema permitia criar música multi-instrumental, utilizando medidas objetivas como funções de *fitness*. Na saída, o sistema apresentava uma música no formato MIDI. Juntamente com isto, Oliwa mostrou um procedimento de conversão único de valores numéricos para a linguagem abc (e vice-versa), o que permitia a combinação de otimização numérica com a expressividade rica própria da linguagem musical.

5.2.2. LIVROS

Existem também vários livros lançados sobre esta temática, sendo de destacar dois, editados em 2007, foram editados dois livros sobre este tema:

- ***Evolutionary Computer Music***, editado por John "Al" Biles e Eduardo Reck Miranda, dedicado exclusivamente à Computação Evolucionária na Música, com capítulos sobre a composição, improvisação, performance e outros aspetos da produção musical, bem como ao estudo da utilização dos algoritmos genéticos neste âmbito;
- ***The Art of Artificial Evolution: A Handbook on Evolutionary Art and Music***, editado por Juan Romero e Penousal Machado, que analisa aplicações na arte, música e no *design*. O livro inclui uma secção sobre Música Evolucionária.

5.2.3. CONFERÊNCIAS

No âmbito global da Computação Evolucionária (CE), um dos maiores eventos a nível internacional é o GECCO: *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, que se realiza anualmente. (Figura 36)

Figura 36 Site oficial da GECCO 2012

Durante a GECCO 2005, Al Biles apresentou uma palestra sobre a música evolucionária e coeditou um livro sobre o assunto, com a contribuição de muitos investigadores desta área.

No âmbito específico da Música Evolucionária (ME), é digno de destaque o EvoMUSART. Esta conferência (até 2012, apenas considerado *workshop*) tem feito parte do evento *EvoStar*, desde 2003. Este evento sobre Música e Arte Evolucionárias é um das principais mostras internacionais de trabalhos desenvolvidos mundialmente sobre a temática.

Em 2004 foi realizado o *EuroGP Song Contest* (um trocadilho com Festival Eurovisão da Canção). Nesta experiência várias dezenas de utilizadores foram testados. Em primeiro lugar à sua capacidade de reconhecer as diferenças musicais e depois foi desenvolvida uma pequena melodia baseada em piano.

5.2.4. SOFTWARES

Na década passada, surgiram uma série de sistemas experimentais que utilizam modelos de CE para gerar composições musicais, alguns dos quais relativamente bem-sucedidos:

- O *Evolutune* é uma pequena aplicação Windows de 2005 para a evolução de simples ciclos (*loops*) de “*beeps e boops*”; tem uma interface gráfica onde o utilizador pode seleccionar manualmente os pais;
- O *GeneticDrummer* é um sistema baseado de composição evolucionária para a geração de acompanhamento rítmico; O sistema compõe um acompanhamento

rítmico de acordo com uma determinada peça musical; Internamente utiliza um algoritmo genético que desempenha, ao contrário da maioria dos geradores evolucionários de ritmo, uma avaliação autónoma da qualidade do acompanhamento gerado, usando a função de *fitness*;

- O ***easy Song Builder*** é também um programa de composição evolucionária. O utilizador decide qual a versão da música será a que passará para a próxima geração.
- O ***FractMus*** (Figura 37) é programa *freeware*, gerador de música algorítmica desenvolvido e mantido pela pianista e compositor espanhol Gustavo Díaz-Jerez. Tem sido utilizado principalmente por compositores, intérpretes, investigadores e artistas para a criação de música;

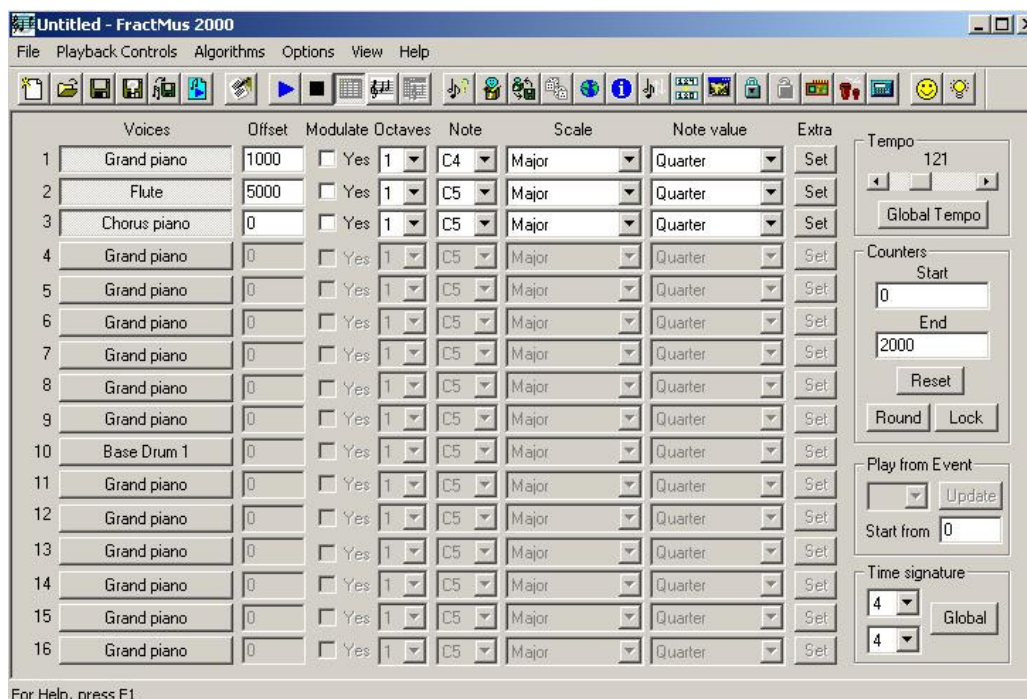


Figura 37 FractMus 2000

- O ***Vox Populi*** (Figura 38) é um programa de composição interativa que emprega Algoritmos Genéticos. Estes são utilizados para manipular um conjunto de acordes, denominado de “população”. Existe também uma interface gráfica, onde o utilizador traça linhas que passam a controlar parâmetros estruturais em tempo real. Segundo os seus criadores, “No *Vox Populi*, uma população de acordes é codificada a partir do protocolo MIDI, e esta população desenvolve-se por meio da aplicação de AG (Algoritmos Genéticos). Controlos gráficos (*pad* e *Sliders*) possibilitam a fácil manipulação do critério *fitness* e dos atributos sonoros. A

computação evolucionária é utilizada para estimular a percepção do utilizador e suas reações a sonoridades diferentes. Nesta associação com o comportamento dinâmico dos AG como ferramentas para uma interação em tempo real, o *Vox Populi* torna-se um instrumento musical. Ao contrário dos instrumentos tradicionais, é capaz de criar o seu próprio material sonoro (a população de acordes) e fornecer simultaneamente um critério de escolha (*Musical Fitness*).” [26]

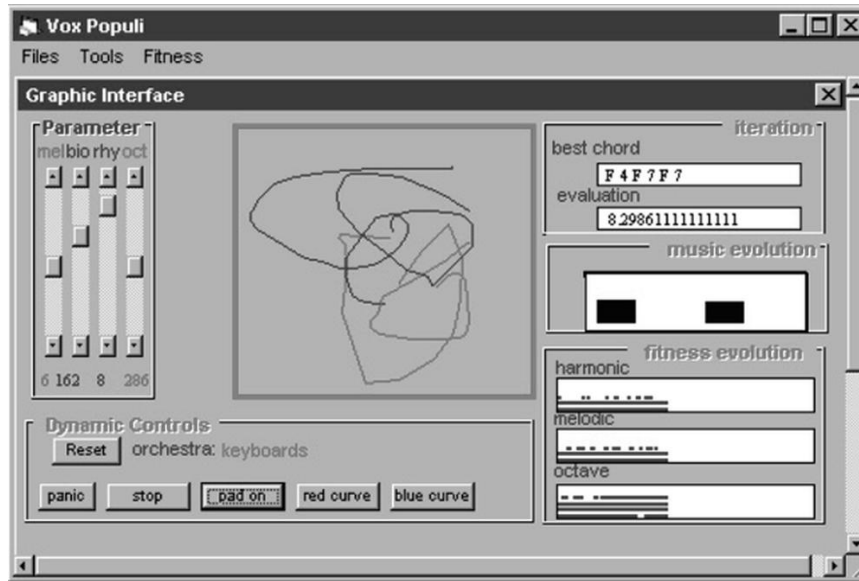


Figura 38 Interface do *Vox Populi* [26]

5.3. VOX POPULI: ALGUNS ASPETOS FUNCIONAIS

Criado entre 1998 e 1999 por Moroni, Manzolli, Von Zuben e Gudwin, o *Vox Populi* é intitulado um “sistema composicional evolucionário”. Os seus autores apresentam alguns dos princípios fundamentais do sistema: “os parâmetros para a definição dos acordes, a forma na qual as alturas são trabalhadas (utilizando-se *Midi Note Number*) e os padrões rítmicos são gerados, além de aspetos da interação em tempo real”

Os indivíduos da população são acordes de quatro notas. Utilizando a linguagem dos algoritmos genéticos, temos:

- Um genótipo é um bloco de quatro palavras de 7 bits (Figura 39):

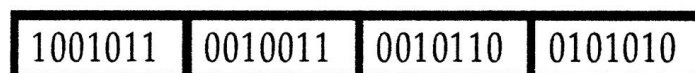


Figura 39 Bloco com quatro palavras de 7 bits

- O seu fenótipo é um acorde de 4 notas MIDI.
- Uma população é um conjunto de 30 acordes.

A população inicial é formada por 30 acordes “pseudoaleatoriamente” gerados (provavelmente segundo a distribuição uniforme de probabilidade). Um processo reprodutivo é responsável por transformar a população em função do tempo, mas preservando seu tamanho (de 30 acordes).

O funcionamento do programa pode sintetizar-se nos seguintes passos (Figura 40):

1. Criar uma população aleatoriamente;
2. Enquanto o utilizador não clicar em “stop”, faz:
 - a. Avaliar a *fitness* de todos os indivíduos da população;
 - b. Aplicar os operadores genéticos em cada indivíduo da população, tendo em conta a *fitness* de cada indivíduo, ou seja:
 - i. Reprodução: copia um genótipo para a nova população;
 - ii. Cruzamento: troca os dois pedaços entre os dois genótipos e o genótipo resultante dessa troca irá para a nova população;
 - iii. Mutação: troca um ou mais bits de um genótipo e passa esse genótipo modificado para a nova população;
 - c. Volte ao passo 2.

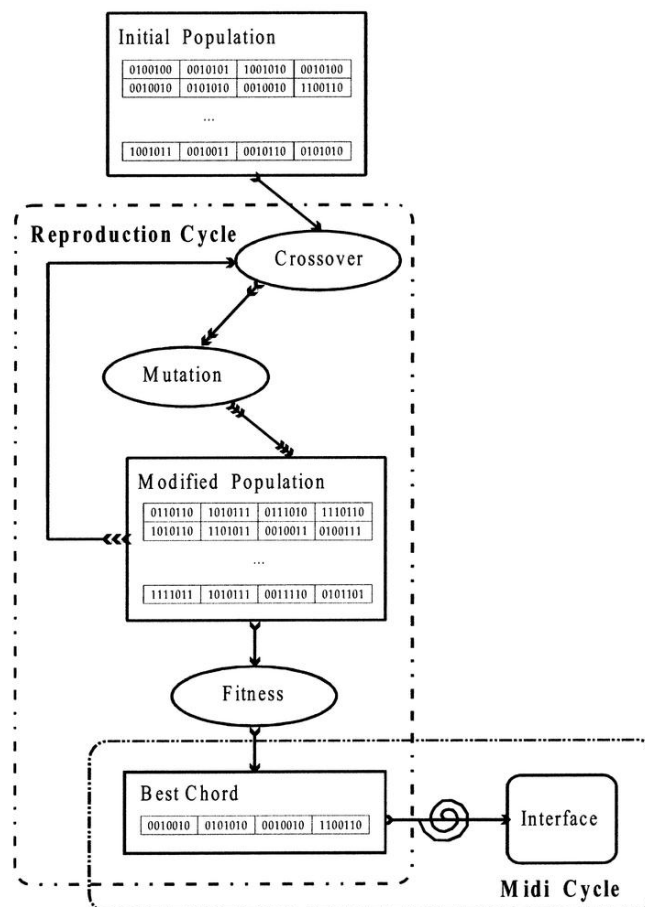


Figura 40 Representação gráfica do funcionamento do *Vox Populi* [26]

O cálculo da *fitness* envolve três parcelas:

$$Fitness\ musical = Fitness\ melódica + Fitness\ harmónica + Fitness\ vocal$$

Para o *Vox Populi*, a *fitness* harmónica de duas notas é proporcional à intersecção dos espectros dessas duas notas. (Figura 41 e Figura 42)

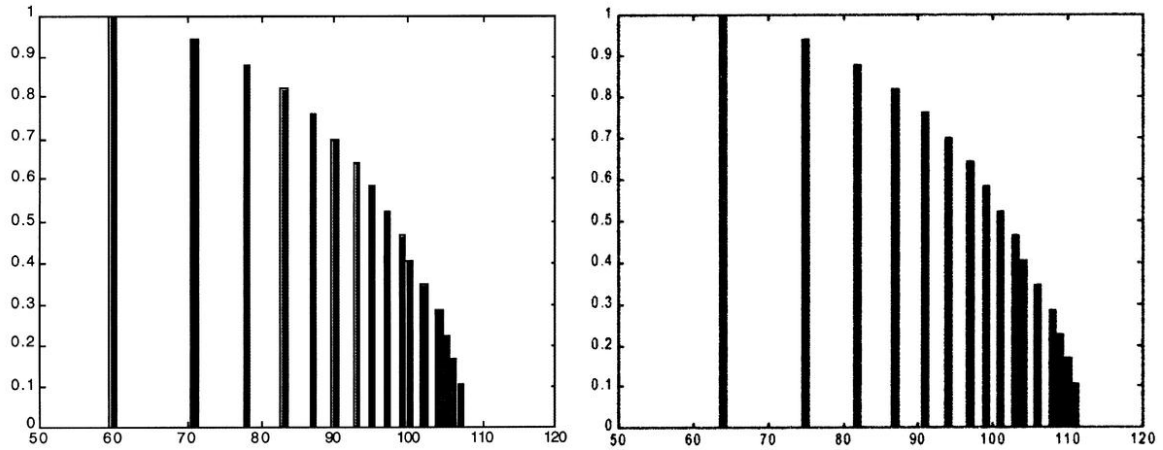


Figura 41 Espectro do Dó central (piano) e espectro do Mi (piano), respetivamente [26]

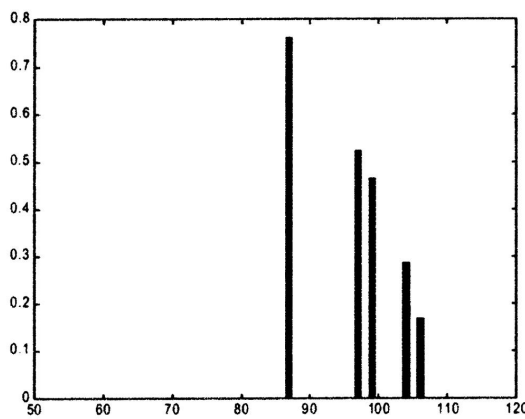


Figura 42 Intersecção dos espectros anteriores [26]

A *fitness* melódica de um acorde é calculado considerando-se a distância de cada nota do acorde à tónica (dito de uma forma simplista, a nota que dá nome ao acorde), parâmetro que é fornecido pelo utilizador. (Figura 43)

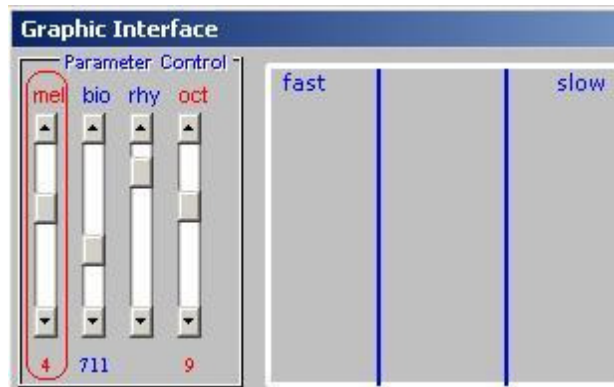


Figura 43 Controlo de parâmetros pelo utilizador

6. ESTRUTURA E DESCRIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Neste penúltimo capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido, com uma descrição da sua estrutura e uma abordagem aos aspetos mais importantes das respetivas fases de desenvolvimento. Previamente, é realizada uma breve abordagem aos recursos utilizados na conceção deste projeto, nomeadamente a linguagem de programação *Java* e algum *software*.

6.1. RECURSOS UTILIZADOS

Para a execução deste trabalho foi necessário recorrer a uma linguagem de programação que permitisse implementar os algoritmos genéticos. A escolha do autor recaiu sobre a linguagem *Java*.

6.1.1. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO *JAVA*

O *Java* é uma linguagem de programação orientada a objetos que começou a ser desenvolvida em 1991 por uma equipa liderada por James Gosling, da *Sun Microsystems*,

na Califórnia. O objetivo desta equipa era obter uma linguagem de programação que pudesse produzir *software* isento de erros para a eletrónica de consumo. As linguagens usadas até então (*C* e *C++*) não eram consideradas as mais adequadas para a geração de código independente da plataforma em que era utilizado. O principal problema residia no facto de os programas *C* ou *C++* terem de ser compilados para um determinado processador. Caso esse processador mudasse, seria necessário recompilar todo o código. Se se pensar nos *chips* utilizados na eletrónica de consumo (que continuamente sofrem alterações), é possível entender o quão sério se torna esse problema. Assim, o principal objetivo da *Sun Microsystems* ao conceber o *Java*, foi o de produzir uma linguagem o mais independente possível do *hardware* utilizado.

Assim, as principais características do *Java* são:

- Orientação a objetos;
- Independência de plataforma utilizada ("*write once, run anywhere*");
- Possibilidade de utilização dos protocolos TCP/IP, HTTP e FTP – recursos de rede;
- Segurança.

Para além destas características, o *Java* apresenta outras vantagens, tais como:

- Sintaxe similar a *C/C++*;
- Um vasto conjunto de bibliotecas (ou API's);
- Código bastante dinâmico (os programas *Java* são constituídos por um conjunto de classes armazenadas autonomamente e que podem ser carregadas no momento da sua utilização).

Para além de a sintaxe ser baseada no *C/C++* e de permitir a portabilidade do programa independente da plataforma, também o facto de permitir a construção acessível de interfaces gráficos e a possibilidade de (com algumas alterações) “correr” o programa num *browser* de Internet, pesaram na escolha desta linguagem por parte do autor, para a conceção deste projeto. [27]

6.1.2. API JAVA JFUGUE

O *JFugue* - *Java API for Music Programming* é uma API (*Application Programming Interface*) de código aberto (*open source*) que permite programar música em linguagem *Java* sem as complexidades do MIDI. [28]

O “segredo” por trás desta biblioteca – isto é, a razão pela qual o *JFugue* é tão fácil de utilizar e permite ao programador criar música tão rapidamente – é o *MusicString*, um objeto do tipo *String* formatado de forma específica e que contém instruções musicais.

Por exemplo, para reproduzir a nota Dó central (*Middle C*), através da plataforma *Java MIDI*, teria de ser programar tal como apresentado na Figura 44.

```
Sequencer sequencer = MidiSystem.getSequencer();
Sequence sequence = sequencer.getSequence();
Track track = sequence.createTrack();
ShortMessage onMessage = new ShortMessage();
onMessage.setMessage(ShortMessage.NOTE_ON, 0, 60, 128);
MidiEvent noteOnEvent = new MidiEvent(onMessage, 0);
track.add(noteOnEvent);
ShortMessage offMessage = new ShortMessage();
offMessage.setMessage(ShortMessage.NOTE_OFF, 0, 60, 128);
MidiEvent noteOffEvent = new MidiEvent(offMessage, 200);
track.add(noteOffEvent);
sequencer.start();
try {
    Thread.sleep(track.ticks());
} catch (InterruptedException e) {
    Thread.currentThread().interrupt();
}
```

Figura 44 Código necessário para reproduzir a nota Dó central

Com o *JFugue*, simplesmente é necessário programar o código da Figura 45.

```
Player player = new Player();
player.play("C");
```

Figura 45 Código necessário para reproduzir a nota Dó central, com o *JFugue*

O *JFugue* analisa a *MusicString* e cria os objetos em segundo plano (*background*) para representar cada nota, instrumento e assim por diante.

Com o *JFugue*, a especificação de uma nota começa com o nome dessa nota: C, D, E, F, G, A, ou B. Depois de especificar a nota em si, pode-se, então, acrescentar um sustenido ou bemol, oitava, duração...

Para indicar que uma nota é sustenido utiliza-se o carácter #, enquanto o carácter *b* serve para representar um bemol. Estes caracteres são colocados imediatamente após o nome da nota. Por exemplo, um Ré sustenido representa-se como “D#”. O *JFugue* também suporta duplos sustenidos ou duplos bemóis, que são indicados utilizando ## e *bb*, respetivamente.

As oitavas das notas são representadas por um número de 0 a 10. Por exemplo, E6 reproduz uma nota E na sexta oitava. Se não for especificada a oitava de uma nota, esta será por omissão, definida como estando na quinta oitava. (Figura 46)

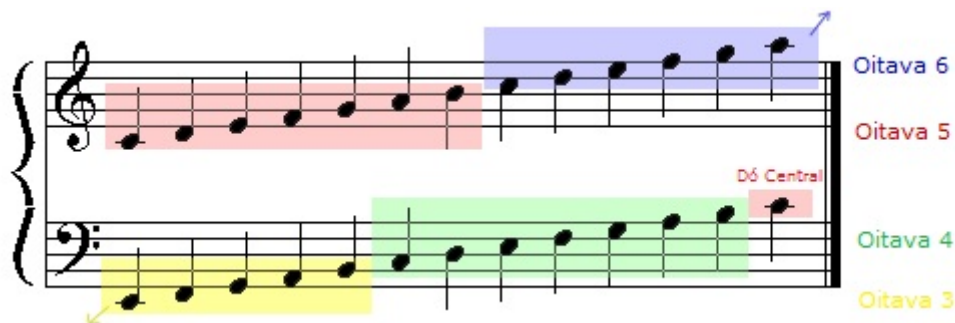


Figura 46 Representação das notas desde a oitava 3 até à 6

Quanto à duração de uma nota, esta é colocada depois da oitava e indicada por uma das letras na Tabela 8. Se esta não for especificada, por omissão será a de uma semínima. Por exemplo, um Fá na sexta oitava, com a duração de uma mínima é representado por “F6h”.

Tabela 8 Durações possíveis para uma nota

Duração	Carácter
Semibreve (<i>whole</i>)	w
Mínima (<i>half</i>)	h
Semínima (<i>quarter</i>)	q
Colcheia (<i>eighth</i>)	i
Semicolcheia (<i>sixteenth</i>)	s
Fusa (<i>thirty-second</i>)	t
Semifusa (<i>sixty-fourth</i>)	x

Uma nota pode também ser representada em termos numéricos, fornecendo o seu valor MIDI entre parêntesis retos, como por exemplo “[60]”. A oitava é tida em conta no valor da nota, não sendo por isso necessário (nem possível) especificá-la. Os valores vão desde 0 até 127, conforme se pode verificar na Tabela 9. [29]

Tabela 9 Valores numéricos MIDI das notas musicais

Oitava	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
3	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
4	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
5	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
6	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
7	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
8	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
9	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
10	120	121	122	123	124	125	126	127				

Aqui vão alguns exemplos de *MusicStrings* (Figura 47):

```
Player player = new Player();
player.play("C");
player.play("C6h");
player.play("C5h Db6i E6w");
player.play("G#5q G5q F5q E5q D5h");

String trecho = "D5q F#5i A5i D6q D6q C#6i";
player.play(trecho);
```

Figura 47 Exemplos de *MusicStrings*

O *JFugue* tem várias outras funcionalidades, algumas bastante avançadas e que facilitam a programação de música em *Java*, entre as quais:

- Além de notas, as *MusicStrings* permitem especificar acordes, instrumentos ou faixas;
- A música pode ser reproduzida em tempo real (no momento de execução do código) ou gravada em ficheiro MIDI;
- A música pode ainda ser enviada e recebida a partir de dispositivos externos, como sintetizadores, misturadores, etc...
- Suporta música microtonal, faixas de ritmos intuitivos que permitem antecipar eventos musicais.

Por fim, o *JFugue* é considerado ideal para aplicações em que a música é gerada em tempo real, tais como:

- Música aleatória, Música Evolucionária, IA (Inteligência Artificial) na Música;
- Editores de música, caixas de ritmos;
- Improvisadores de *Jazz*, imitação de compositores clássicos. [28]

A versão utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi a *JFugue 4.0.3*.

6.1.3. SOFTWARE UTILIZADO

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foram utilizados alguns programas, quer para o desenvolvimento do algoritmo, quer para a utilização da notação musical. Assim, foram utilizados:

- **Netbeans IDE:** O Kit de Desenvolvimento de Software (SDK) *NetBeans IDE (Integrated Development Environment)* é um ambiente de desenvolvimento integrado gratuito (atualmente propriedade da Oracle) e de código aberto para

programadores de *software* nas linguagens *Java*, *C*, *C++*, *PHP*, entre outras. Funciona em muitas plataformas, como *Windows*, *Linux* ou *MacOS* e proporciona aos seus utilizadores, ferramentas necessárias para a criação de aplicações profissionais de *Desktop*, empresariais, *Web* e também móvel multiplataformas. Totalmente escrito em *Java* (logo independente de plataforma e apto a funcionar em qualquer sistema operativo que suporte a máquina virtual *Java*, *JVM*) suporta qualquer outra linguagem de programação que se desenvolva com *Swing*, como *C*, *C++* ou *PHP* mas também linguagens de marcação como *XML* e *HTML*. O *Netbeans* ajuda os programadores a escrever, compilar, a fazer o *debugging* e a instalar aplicações, tendo sido construído de acordo com uma estrutura reutilizável que visa simplificar o desenvolvimento de código, ao mesmo tempo que aumenta a produtividade, uma vez que reúne todas as funcionalidades referidas numa única aplicação. [30] A versão utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi a *NetBeans IDE 7.1.1* (Figura 48).

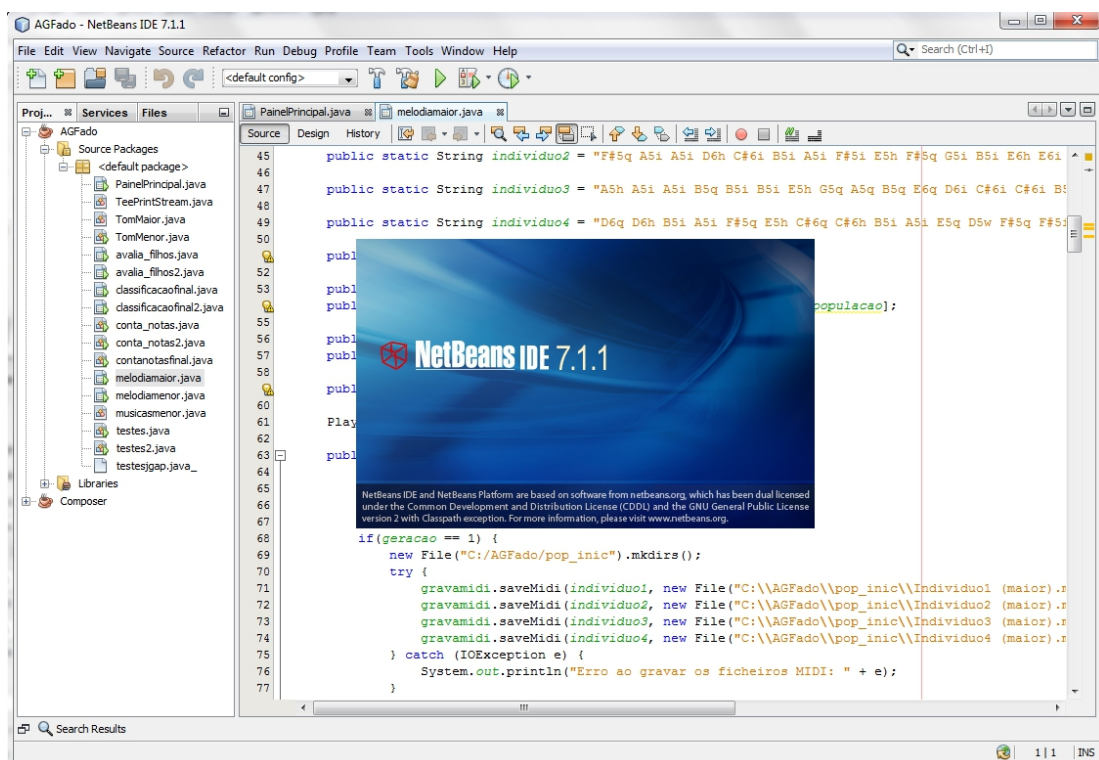


Figura 48 Ambiente de trabalho do *NetBeans 7.1.1*

- **Finale:** O *Finale* é um *software* de edição de partituras. Como se trata de um programa de notação musical para compositores, permite compor e tocar música no computador, funcionando com uma espécie de processador de texto para a composição musical. Este *software* é capaz de lidar com tudo, desde a mais

simples folha composição até aos mais complexos arranjos de orquestra, sendo por isso utilizado tanto por músicos amadores como por profissionais. É usado por escolas de prestígio como a *Juilliard School* (Nova Iorque, EUA) ou o *Lemmensinstituut* (Leuven, Bélgica) e bandas sonoras de filmes como *Million Dollar Baby*, *The Passion of The Christ* ou *Ratatouille* foram escritas utilizando o *Finale*. Está disponível em versões para *Windows* e *MacOS* e oferece várias ferramentas para criação e impressão de partituras, com grande versatilidade de formatação e realismo na reprodução (*playback*) dos temas criados. Ao lado do *Sibelius* (outro *software* similar) é um dos editores de partituras musicais mais utilizados. [31] [32] A versão utilizada na realização deste projeto foi a *Finale 2011* (Figura 49).



Figura 49 Ambiente de trabalho do *Finale 2011*

- **Outro software utilizado:** para a execução de tarefas secundárias ou auxiliares foram utilizados outros programas, tais como o *Excel*, o editor de imagem *GIMP* ou o *software* de criação de diagramas e fluxogramas *Edraw* (Figura 50).



Figura 50 *Software auxiliar utilizado (Excel, GIMP e Edraw)*

6.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Em termos de estrutura, este trabalho foi dividido em duas etapas principais:

- Estudo e recolha de dados sobre o género musical escolhido e posterior análise estatística;
- Desenvolvimento da aplicação, com a conceção do respetivo do algoritmo genético.

6.3. PRIMEIRA PARTE

Esta primeira etapa do trabalho consistiu na recolha de informações e posterior levantamento de dados estatísticos sobre o género musical escolhido: o Fado de Coimbra, nomeadamente fados em tonalidade maior e fados em tonalidade menor.

Para tal, primeiramente, foram selecionados dez temas em tom menor e dez temas em tom maior. Para alguns dos temas estavam disponíveis as respetivas partituras, tendo sido apenas recolhidas pelo autor. No entanto, para os restantes foi necessário proceder à sua transcrição para partitura.

Depois de reunidas as partituras das músicas selecionadas foi então desenvolvida uma aplicação em *Java* para efetuar a contagem do número de vezes que cada nota surge em cada música, de forma a ser possível obter a proporção da utilização de cada nota, em cada tonalidade.

Para tom menor foram escolhidas apenas músicas em tonalidade de Lá menor e para tom maior apenas temas em Ré maior. Estas tonalidades foram escolhidas pelo facto de serem das mais comuns no Fado de Coimbra. Para além disso, só seria lógico realizar-se um estudo estatístico deste género se todos os temas partilhassem do mesmo conjunto de notas, ou seja, partilhassem a mesma tonalidade.

6.3.1. ESTRUTURA E MODO DE FUNCIONAMENTO

Após a transcrição para a notação musical utilizada no *JFugue*, o programa trata as músicas de modo a que no final sejam apresentados num ficheiro os dados pretendidos, isto é, a proporção da utilização de cada nota. De seguida, partindo desses dados e recorrendo ao *Excel*, foram elaboradas tabelas e traçados os gráficos consequentes. O diagrama da Figura 51 ilustra de forma simplificada o funcionamento desta etapa.

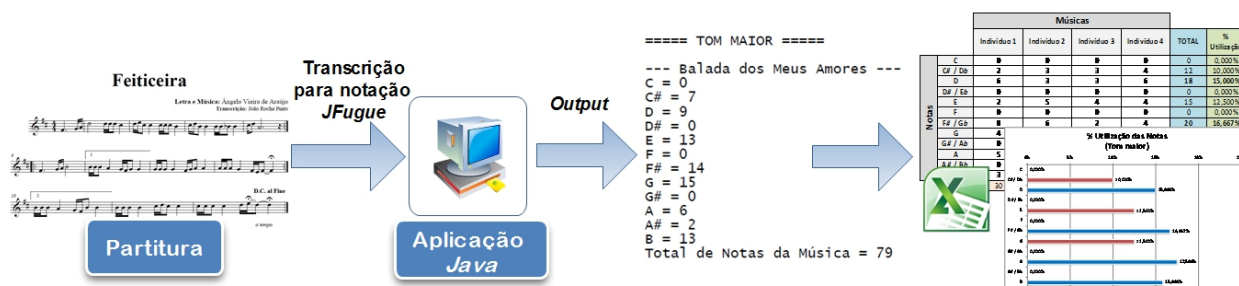


Figura 51 Diagrama do funcionamento da aplicação da primeira etapa

6.3.2. DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Esta aplicação, tal como mencionado anteriormente, foi desenvolvida em *Java* fazendo particular uso da biblioteca *JFugue* e consiste basicamente numa única classe: *conta_notas2*. Inicialmente, nesta classe estão definidas várias *MusicStrings* contendo os trechos que compõem as músicas em análise, de acordo com a notação musical do *JFugue* e conforme o exemplo do excerto de código apresentado na Figura 52:

```
String lagrimas1 = "C6h. D6i C6i B5h. A5i G#5i B5q A5wh. F5h. F5 G5h-i F5i E5i F5i A5qwh. ";

String lagrimas2 = "B5h. B5i B5i B5h. B5i B5i C6h C6hh. C6q D6h. D6q D6h. D6i D6i E6qh.w ";

String lagrimas3 = "F6h. E6q D6q B5h C6i D6i E6h. D6q C6h. C6q D6h. F6q E6h-i G#5q C6i B5q A5h.w ";
```

Figura 52 Excerto de código com notação musical *JFugue*

A divisão das músicas em trechos facilita e reduz a quantidade de código utilizado, uma vez que alguns desses trechos se repetem dentro da própria música, tal como se pode verificar no fragmento de código da Figura 53, continuação do exemplo acima apresentado:

```
String lagrimas = lagrimas1+lagrimas1+lagrimas2+lagrimas3;
```

Figura 53 Exemplo de código representando trechos musicais, com *JFugue*

Após serem definidas todas as *MusicStrings* dos temas a serem analisados foi criado o vetor de *Strings* de 20 posições (para as 10 músicas em tom maior e as 10 músicas em tom menor), carregado com as *MusicStrings* criadas anteriormente (Figura 54).

```
musicas[0] = amores;
musicas[1] = infancia;
musicas[2] = sonha;
musicas[3] = alentejo;
musicas[4] = feiticeira;
(. . .)
musicas[13] = lagrimas;
(. . .)
musicas[19] = solitario;
```

Figura 54 *Strings* contendo as *MusicStrings* criadas anteriormente

Para além do vetor ‘*musicas*’, foram também criados um vetor de caracteres ‘*vector1*’ com as notas C, D, E, F, G, A e B e um vetor de *Strings* ‘*vector2*’ para as notas C#, D#, F#, G# e A#. Estes vetores são necessários para comparação com as músicas, no momento da contagem das notas. Depois de carregado o vetor ‘*musicas*’ com os temas e definidos os vetores que irão servir de comparação, é então efetuada a contagem das notas de cada música. A Figura 55 representa um excerto do código responsável pela contagem das notas.

```
for(j=0;j<vector1.length;j++) {
    int contador1 = 0;
    for(l=0; l<musicas[i].length(); l++ ) {
        if( musicas[i].charAt(l) == vector1[j]) {
            contador1++;
            if(musicas[i].charAt(l+1) == '#')
                contador1--;
        }
    }

    System.out.println(vector1[j] + " = " + contador1);
    subtotal1+=contador1;
    contador1=0;
    temp++;

    for(k=temp;k<vector2.length;k++) {
        contador2=getWordCount(vector2[k],musicas[i]);
        if(" ".equals(vector2[k]))
            break;
        System.out.println(vector2[k] + " = " + contador2);
        subtotal2+=contador2;
        break;
    }
}
```

Figura 55 Excerto do código responsável pela contagem das notas

Depois de executado o programa, os respetivos resultados são apresentados na consola *Java* e gravados no ficheiro ‘*contagem.txt*’: o número de vezes que cada nota é utilizada e o número total de notas de cada música. A Figura 56 mostra um fragmento desse resultado.

```

--- Balada dos Meus Amores ---
C = 0
C# = 7
D = 9
D# = 0
E = 13
F = 0
F# = 14
G = 15
G# = 0
A = 6
A# = 2
B = 13
Total de Notas da Música = 79

```

Figura 56 Fragmento do *output* da aplicação da primeira etapa

6.3.3. RESULTADOS OBTIDOS

Pela análise das vinte músicas (as duas tonalidades), conseguida através da aplicação desenvolvida, foi possível obter os dados estatísticos almejados (ver tabelas no Anexo B). Assim, foram registados os dados sobre a percentagem de utilização de cada nota, em cada uma das tonalidades do estilo musical em estudo: Lá menor e Ré maior. Os resultados obtidos estão patentes nos gráficos da Figura 57 e Figura 58.

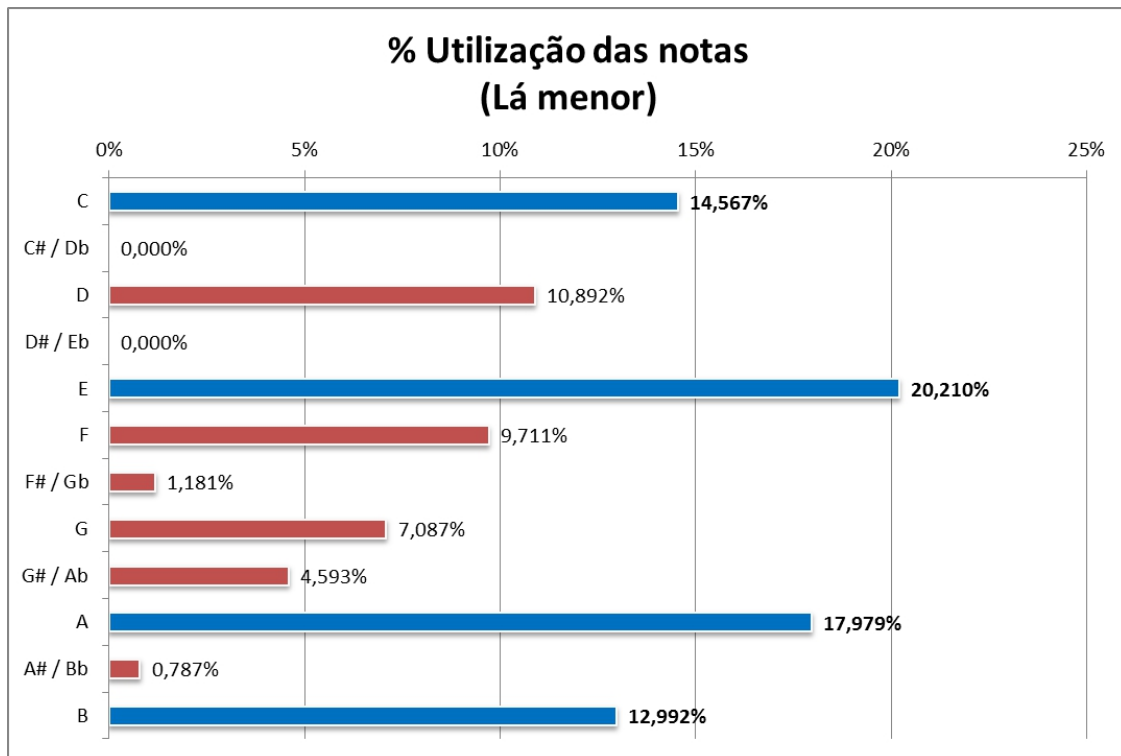


Figura 57 Percentagem da utilização de cada nota: músicas em Lá menor – primeira etapa

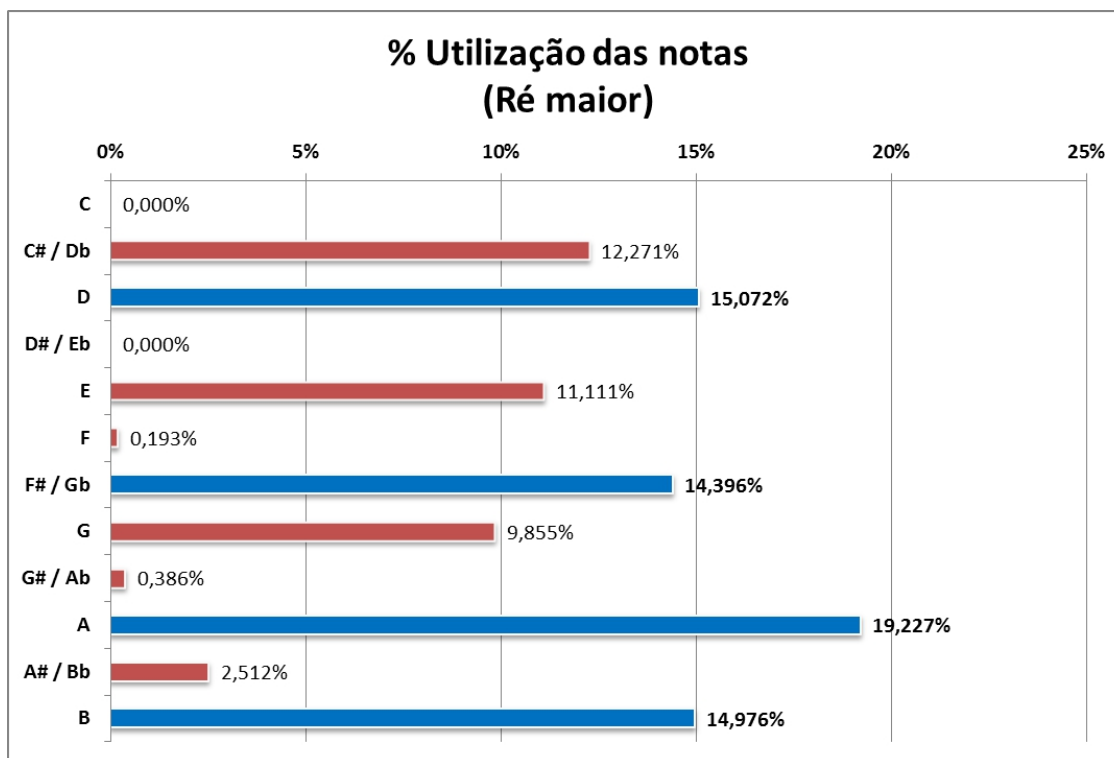


Figura 58 Percentagem da utilização de cada nota: músicas em Ré maior – primeira etapa

Fazendo uma análise aos resultados, pode desde logo constatar-se que, tanto para uma tonalidade como para outra, existem algumas notas que não aparecem uma única vez ou cuja sua manifestação é reduzida. Isto pode ser fundamentado pelo facto de se estar perante um género musical tonal.⁸ Assim, à partida, tanto para uma tonalidade como para outra era de certa forma expectável quais seriam as notas mais utilizadas.

Nas músicas em Ré maior as notas mais frequentes são as que fazem parte da escala da respetiva tonalidade – D, E, F#, G, A, B e C# – com maior predominância para as notas D, F#, A e B (destacadas a azul no gráfico da Figura 58), os 1º, 3º, 5º e 6º graus, respetivamente. Ainda assim, há outras notas que embora não fazendo parte da tonalidade em causa, aparecem algumas vezes. Isto pode ficar-se a dever ao facto de no Fado de Coimbra ser recorrente em alguns casos (em termos de harmónicos) o acompanhamento com acordes aumentados. Por exemplo, o Fá (F), não fazendo parte da escala de Ré maior, é utilizado para construir o acorde de Lá aumentado: A, C# e F). Para além disso, esta

⁸ Música tonal é toda música que apresenta uma tonalidade definida, isto é, uma hierarquia entre as notas utilizadas, que giram em torno de uma nota principal: a tónica. Na música tonal não são utilizados aleatoriamente todos os sons da escala cromática. Algumas dessas notas são empregadas de forma estratégica e de acordo com uma hierarquia interna da tonalidade, dependendo da escala em questão. No entanto, as notas não pertencentes a essa escala podem também ser utilizadas como forma criativa de “colorir” ou de “dar tempero” à música. [33] [34]

circunstância também deverá estar relacionada com o uso que este estilo faz daquilo que em teoria musical se denomina por cadências, nomeadamente a cadência plagal.⁹ Por exemplo, em pelo menos uma das músicas está implícita a utilização do acorde subdominante menor (4º grau - IVm) Sol menor, composto pelas notas G, A# e D. Assim, o Lá sustenido (A#) acaba por ser utilizado ao longo da melodia, mesmo não fazendo parte da tonalidade em que esta se encontra. A utilização de notas que não pertencem à escala pode também ser justificada como sendo fruto da criatividade do compositor e da sua liberdade de poder fazer uso de notas cromáticas, por forma a dar outro “colorido” à música.

Para as músicas em Lá menor, as conclusões que se podem retirar dos resultados são algo semelhantes. Também aqui, as notas mais frequentes são as que fazem parte da respetiva tonalidade – A, B, C, D, E, F e G – com maior incidência para as notas A, B, C, e E (destacadas a azul no gráfico da Figura 57), respetivamente os 1º, 2º, 3º e 5º graus. Mas enquanto para tonalidade maior apenas existe uma respetiva escala maior, para a tonalidade menor existem três variações da escala menor. Assim, para além da escala de Lá menor natural (já mencionada quatro linhas acima), existe igualmente a escala de Lá menor harmónica (A, B, C, D, E, F e G#) e Lá menor melódica (A, B, C, D, E, F# e G#). Isso justifica o facto de notas como o Fá sustenido (F#) e o Sol sustenido (G#) terem alguma expressão em determinadas melodias. Para além disso, a circunstância de ser frequente em fados de tom menor a utilização de acordes diminutos (como por exemplo o acorde de Sol sustenido diminuto, G#dim: G#, B e D) também pode explicar a razão pela qual notas como por exemplo o G# aparecem ao longo de algumas músicas. Por fim, tal como na tonalidade de Ré maior, o aparecimento de notas que não pertencem à escala (ou neste caso, escalas) pode identicamente ser explicado como consequência da criatividade do compositor – cromatismo.¹⁰

⁹ Cadência, na teoria musical ocidental, é uma série particular de acordes que finalizam uma frase, secção ou peça musical. As cadências dão um final próprio às frases, que podem, por exemplo, sugerir ao ouvinte se a peça continua ou se terminou. São de grande importância melódica e estrutural, funcionando como uma espécie de pontuação ao longo da melodia e como conclusão de um pensamento harmónico. A cadência plagal é uma cadência que liga um acorde subdominante (IV) com o acorde da tónica (I). (e. g. “I–IV–IVm–I”) É uma cadência conclusiva, embora de forma não muito acentuada. É conhecida também por “cadência do amém” por ser utilizada para harmonizar esta palavra no final de hinos religiosos. [35]

¹⁰ Cromatismo, em teoria musical, é a utilização das notas da escala cromática (composta de 12 semitons) no contexto de uma composição tonal. Os cromatismos são vulgarmente organizados como frases musicais compostas de notas cromáticas, com o intuito de criar tensão melódica ou harmónica, prolongando assim o desenvolvimento tonal e

6.4. SEGUNDA PARTE

Depois do levantamento estatístico e da respetiva análise dos dados recolhidos acerca do género musical em estudo, seguiu-se para uma segunda fase do trabalho. Tendo em conta os resultados obtidos anteriormente, nesta etapa pretendia-se desenvolver uma aplicação que, partindo de algumas melodias iniciais e fazendo uso de algoritmos genéticos, fosse capaz de demonstrar algumas capacidades de composição musical de fados em tom menor e tom maior. Basicamente, o programa deveria permitir escolher entre tom menor ou tom maior e, de seguida, ser capaz de compor melodias de acordo com as preferências (i. e. com o “gosto”) do utilizador. A aplicação foi intitulada pelo autor como “AG Fado”.

6.4.1. CARACTERÍSTICAS DO ALGORITMO GENÉTICO IMPLEMENTADO

Em AG, os indivíduos são geralmente representados por sequências de números binários. No entanto, neste trabalho, as soluções são apresentadas sob a forma de sequências de caracteres ASCII. Em termos de representação cromossómica, os indivíduos (ou cromossomas) são formados por 30 notas e cada nota é composta por 3 genes que podem tomar diversos valores (alelos) como se pode observar no exemplo da Figura 59. Assim, a primeira posição (o primeiro gene) refere-se à nota musical e pode tomar um dos seguintes valores: {A, A#, B, C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#}. Na segunda posição (segundo gene) é feita referência à oitava a que se refere a nota utilizada: {3,4,5,6}. Por fim, na posição três, o terceiro gene indica a duração da nota, sendo que os possíveis valores são: {w, h, q, i}. A Figura 60 apresenta um exemplo de cromossoma de 30 notas, composto portanto por 90 genes.

D#	6	h
----	---	---

Figura 59 Desenho de um cromossoma de uma nota (3 genes)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	88	89	90
C	6	q	D	6	h	C	6	w	G#	5	i	C	6	w

Figura 60 Esquema de um cromossoma de 30 notas (90 genes)

retardando a resolução melódica. Em geral, o cromatismo está associado à utilização da dissonância (a qualidade dos sons parecerem "instáveis"). [33] [35]

6.4.2. ESTRUTURA E LÓGICA DO PROGRAMA AG FADO

O programa desta segunda parte do trabalho foi desenvolvido em *Java* e recorrendo uma vez mais à biblioteca *JFugue*. A aplicação é composta por 7 classes *Java*. A descrição da funcionalidade de cada uma dessas classes está exposta abaixo, na Tabela 10.

Tabela 10 Descrição da funcionalidade das classes

NOME DA CLASSE	FUNCCIONALIDADE
PainelPrincipal	Janela de interface, com o painel inicial de interação com o utilizador; conforme a escolha efetuada por este é “chamada” a classe <i>melodiamenor</i> ou <i>melodiamaior</i> .
melodiamenor	Janela de interface com painel de avaliação de melodias de tom menor . Esta classe contém a população inicial de melodias (indivíduos) de tom menor . O utilizador pode ouvir as melodias e efetuar a respetiva avaliação. Depois de validadas as opções deste, nesta classe são ainda realizadas as operações de cruzamento entre os indivíduos selecionados para tal. É ainda nesta classe que é selecionado o melhor indivíduo da geração (elitismo). Se tiver sido encontrado o critério de paragem do AG, a classe inicializada é a <i>classificacaofinal</i> . Caso contrário, é inicializada a classe <i>avalia_filhos</i> .
melodiamaior	Janela de interface com painel de avaliação de melodias de tom maior . Esta classe contém a população inicial de melodias (indivíduos) de tom maior . A classe é responsável pelo mesmo tipo de operações que a classe <i>melodiamenor</i> . Se tiver sido encontrado o critério de paragem do AG, a classe inicializada é a <i>classificacaofinal2</i> . Caso contrário, é inicializada a classe <i>avalia_filhos2</i> .
avalia_filhos	Janela de interface com painel de avaliação dos filhos obtidos anteriormente por cruzamento, entre as melodias de tom menor . O utilizador ouve as respetivas melodias e atribui uma classificação. Depois de confirmadas as opções deste, esta classe é responsável por eliminar o filho com pior classificação e selecionar um dos restantes para ficar sujeito a mutação. No fim, a classe é responsável por “regressar” à classe <i>melodiamenor</i> .
avalia_filhos2	Janela de interface com painel de avaliação dos filhos obtidos anteriormente por cruzamento, entre as melodias de tom maior . A classe é responsável pelo mesmo tipo de operações que a classe <i>avalia_filhos</i> . No fim, a classe é responsável por “regressar” à classe <i>melodiamaior</i> .
classificacaofinal	Janela de interface com apresentação dos resultados finais do AG, quando selecionadas tom menor .
classificacaofinal2	Janela de interface com apresentação dos resultados finais do AG, quando selecionadas tom maior .

Para além destas classes principais, foi ainda utilizada uma outra classe (*TeePrintStream*), de índole secundário, que serviu apenas para permitir a gravação do *output* do programa para um ficheiro de texto.

O fluxograma da Figura 61 apresenta, de uma forma geral, a estrutura lógica da aplicação AG Fado.

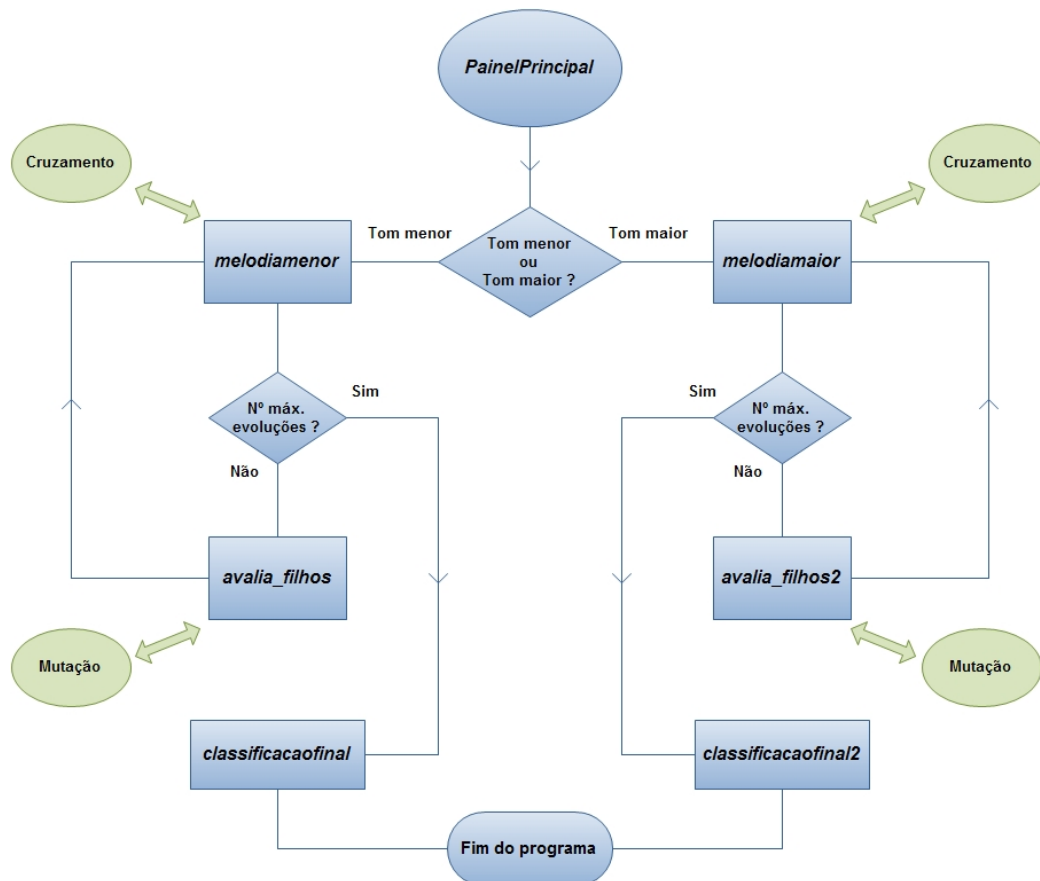


Figura 61 Fluxograma com a estrutura da aplicação AG Fado

6.4.3. ESTRUTURA INTRÍNSECA DO ALGORITMO GENÉTICO

De um modo geral, a estrutura do algoritmo genético é relativamente simples e comum a outros problemas que fazem uso deste tipo de algoritmo evolucionário.

- a) **Início:** Nesta fase é introduzida a população inicial, geralmente criada de forma aleatória. No entanto e neste caso, o autor decidiu utilizar melodias criadas por si, tendo em conta os resultados obtidos na análise estatística da primeira parte deste trabalho. (ver Anexo B) Como estamos perante uma aplicação que envolve arte, a avaliação é uma tarefa bastante subjetiva e algo abstrata. Daí, surge a decisão de este processo ser efetuado através da interação humana. No entanto, como a avaliação das melodias que resultam do funcionamento do AG é feita pelo

utilizador, tal tarefa torna-se repetitiva, monótona e algo cansativa. Por isso, para ser mais provável conseguir resultados com alguma congruência e discernimento, o autor decidiu que a população inicial seria composta apenas por 4 melodias (indivíduos), cada uma delas composta por 30 notas.

- b) Avaliação:** o processo de avaliação, tal como referido anteriormente é feito através da interação do utilizador, que tem a tarefa de ouvir as melodias e ajuizar sobre a sua classificação (*fitness*). O facto de se tratar de melodias do mesmo género musical e todas na mesma tonalidade pesou na decisão de utilizar uma população reduzida.
- c) Seleção:** o método de seleção adotado para o algoritmo foi a seleção por torneio. Este método de seleção tem várias vantagens: a programação do código é simples e eficiente e permite que a pressão de seleção seja facilmente ajustada. Neste caso, os torneios são realizados entre 2 indivíduos, selecionados aleatoriamente. O vencedor de cada torneio (aquele com o melhor *fitness*) é selecionado para o cruzamento. Assim, são realizados 4 torneios. Os vencedores irão de seguida “cruzar-se” entre si.
- d) Cruzamento:** o cruzamento entre indivíduos é operado através de um ponto de corte. O local para o ponto de corte é selecionado aleatoriamente, entre cinco possíveis, definidos pelo autor: após a 5^a, 10^a, 15^a, 20^a ou 25^a nota. Os 4 indivíduos selecionados anteriormente por torneio cruzam-se então, entre si no ponto escolhido de forma aleatória (o 1^o indivíduo vencedor “cruza-se” com o 2^o e o 3^o “cruza-se” com o 4^o), dando origem a 4 filhos.
- e) Mutação:** esta fase decorre após a avaliação dos filhos, obtidos anteriormente por cruzamento e depois de excluído aquele com pior *fitness* (que não passará à geração seguinte, dando lugar ao melhor indivíduo). Assim, um dos restantes 3 filhos ficará sujeito a mutação. É escolhido de forma aleatória um dos filhos que irá então ficar sujeito a esta operação genética. Depois de selecionado o filho, é escolhida de forma aleatória uma nota que deverá ser alterada (i. e. mutada): C, D, E, F, G, A ou B. De seguida, também aleatoriamente, é selecionada a nota que a irá substituir. A mutação efetua-se na primeira ocorrência que se verificar no filho selecionado, da nota a ser substituída. A mutação pode nem acontecer efetivamente, pois é possível

dar-se o caso de a nota selecionada para alteração ser a mesma que a nota selecionada para a substituir.

- f) **Substituição:** após terminadas as operações genéticas (cruzamento e mutação) é efetivada a substituição dos indivíduos. Da população inicial, é selecionado, por elitismo o indivíduo com maior valor de *fitness*. Os restantes são substituídos pelos 3 melhores descendentes, sendo que o pior é eliminado.
- g) **Final:** o AG termina quando é satisfeita a condição de paragem definida. Existem várias formas de definir essa condição, sendo que neste trabalho o critério de paragem escolhido foi o número máximo de evoluções, isto é o número máximo de gerações. Assim, neste programa, ao fim de 3 gerações o algoritmo termina, sendo apresentada a solução. O autor optou por um número reduzido de evoluções para critério de paragem, uma vez mais por se estar perante uma avaliação feita por interação humana, uma tarefa repetitiva, tal como referido anteriormente. No entanto, o número pode ser facilmente alterado, bastando para isso modificar apenas um par de instruções no código *Java*.

6.4.4. MODO DE FUNCIONAMENTO E RESULTADOS

Nesta secção 6.4.4 é apresentado o modo de funcionamento do programa, bem como um exemplo de resultados obtidos. Uma vez que se trata de avaliar de uma forma de expressão artística através de interação humana, os resultados podem ser, obviamente, diferentes daqueles que aqui são apresentados. Aquilo que para um utilizador pode ser considerada uma boa melodia, pode não o ser necessariamente para outro. Os gostos musicais são subjetivos e portanto não se devem tirar grandes ilações dos valores obtidos, apenas por uma execução do programa. Além do mais, um utilizador pode por exemplo, “sabotar” o funcionamento do programa e classificar sempre com valores muito baixos as melodias que efetivamente se possam estar a aperfeiçoar com o progredir do AG.

O funcionamento do programa é bastante acessível. No interface inicial (ilustrado na Figura 62) o utilizador pode escolher de forma simples qual a tonalidade (menor ou maior) sobre a qual se pretende que o programa componha melodias.

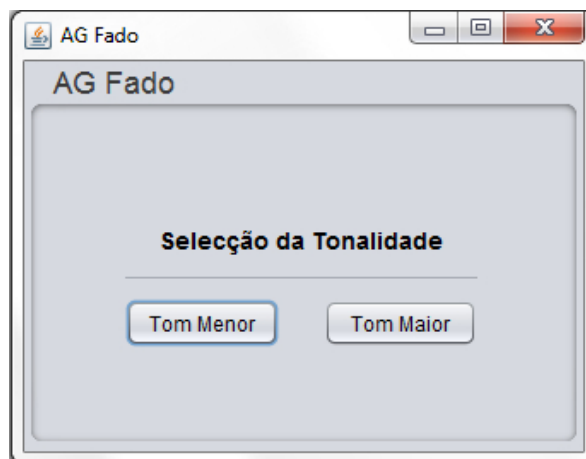


Figura 62 Interface inicial da aplicação AG Fado

Após a escolha da tonalidade, o programa avança para uma segunda janela onde o utilizador tem a possibilidade de ouvir e avaliar cada uma das melodias iniciais, isto é cada um dos indivíduos da população inicial. A Figura 63 mostra esta janela de avaliação das melodias.



Figura 63 Interface de avaliação das melodias

Depois de ouvir e avaliar cada uma das melodias, o utilizador valida as suas opções e o algoritmo avança para a seleção e consequente operação de cruzamento. Como já foi referido, é utilizado o método de seleção por torneio. Assim, são escolhidos aleatoriamente 2 indivíduos e “vence” o que tiver maior *fitness*, ficando definido como “pai 1”. Este procedimento é efetuado novamente para se definir qual dos indivíduos será o “pai 2”. Posteriormente é efetuado o cruzamento. Todo este processo se repete sendo que, no final, foram realizados 2 cruzamentos que deram origem a 4 novos indivíduos (filhos). O ponto de corte, tal como mencionado anteriormente, é escolhido de forma aleatória, de entre as 5 posições possíveis.

Na Figura 64 podem observar-se as melodias iniciais, ou seja, os indivíduos da população inicial.



Figura 64 Melodias da população inicial

Na Figura 65 está patente um exemplo de uma primeira iteração realizada, isto é os filhos gerados pelo cruzamento das melodias selecionadas da população inicial.

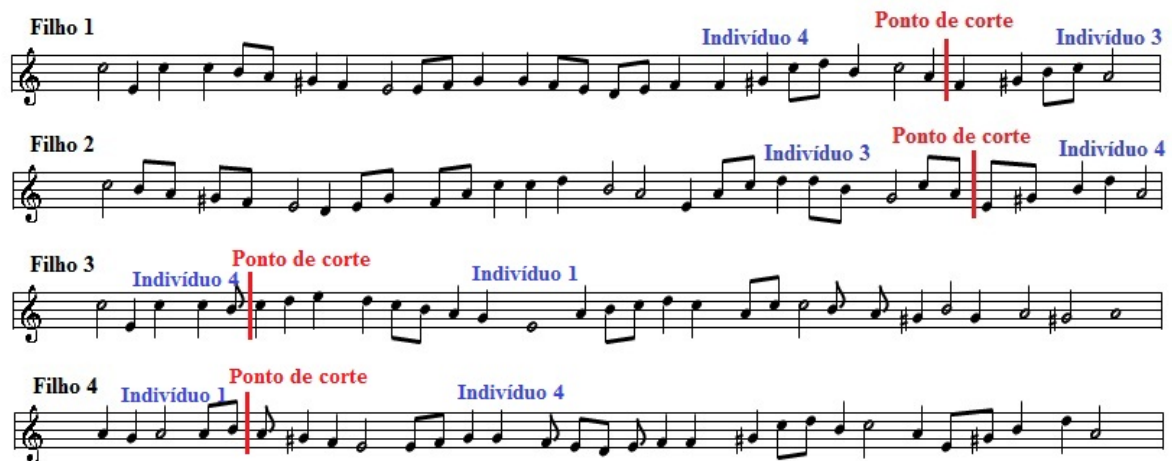


Figura 65 Filhos resultantes dos cruzamentos entre indivíduos da população inicial

Confrontando as duas figuras anteriores, rapidamente se compreende (neste caso) quais as melodias (indivíduos) selecionadas para cruzamento – os pais – e os respetivos pontos de corte. De acordo com a avaliação atribuída pelo utilizador (ver Figura 63) também se pode constatar que o Indivíduo 2 não deixa descendência. Uma vez que tem a pontuação (*fitness*) mais baixa, está, logo à partida, incapacitado para vencer qualquer torneio.

Após esta etapa, e antes de se passar à avaliação dos filhos, é selecionado o melhor indivíduo para passar à geração seguinte – elitismo.

Segue-se então a avaliação dos filhos. Para tal, surge uma nova janela (semelhante à anterior) que permite que o utilizador avalie as melodias obtidas dos cruzamentos realizados anteriormente (Figura 66).



Figura 66 Interface de avaliação dos filhos

Depois de avaliados os filhos, aquele que obteve o pior valor de *fitness* é eliminado, sendo que os outros três passam para a geração seguinte, juntando-se ao indivíduo já selecionado anteriormente por elitismo. Por fim, é escolhido aleatoriamente um dos três filhos restantes que fica sujeito a mutação. A partir daqui, estão então obtidos os 4 indivíduos que formam a geração seguinte.

Todo este processo se repete até ser atingido o critério de paragem, que neste caso é o número máximo de evoluções. Quando esse critério é satisfeito aparece uma última janela na qual o utilizador pode ouvir o indivíduo (melodia) considerado mais apto (i. e., aquele que na última geração antes do algoritmo terminar obteve o maior valor de *fitness*), pode visualizar o valor médio de *fitness* da população inicial e o valor médio final (da última geração avaliada) e tem ainda uma opção para encerrar o programa.

Na Figura 67 está ilustrada essa janela, que apresenta o resultado final do AG.



Figura 67 Janela com resultado final do AG

Fazendo uma análise da evolução do valor de *fitness* médio da população do AG, obtido por esta execução do programa, é possível verificar uma melhoria desde a população inicial até à geração em que o algoritmo termina. O gráfico da Figura 68 mostra essa evolução ao longo das 3 gerações.

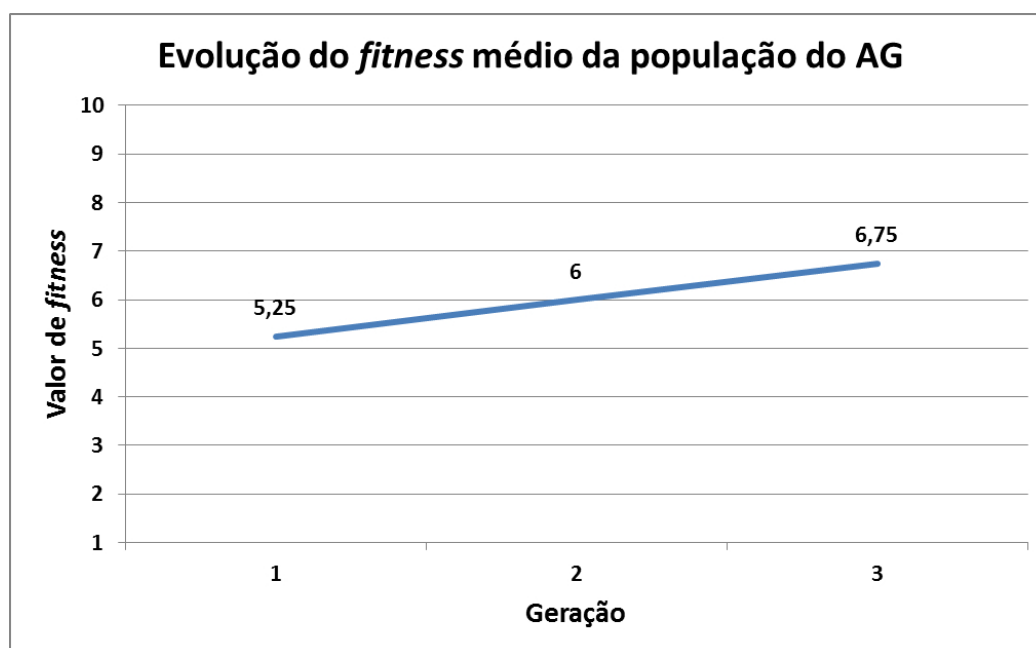


Figura 68 Gráfico da evolução do valor médio de *fitness* da população do AG

Convém reforçar a ideia de que estes valores são consequência de uma determinada execução do programa, neste caso por parte do autor. Qualquer outro utilizador (ou até o próprio autor, executando novamente o programa) poderá encontrar valores distintos. Como já foi referido, trata-se de avaliar uma forma de arte e tal avaliação tem sempre um carácter subjetivo e fundamentalmente pessoal.

7. CONCLUSÕES

A evolução natural pode ser considerada como um poderoso solucionador de problemas que conseguiu trazer, desde o caos, o Homem tal como o conhecemos nos dias de hoje, apenas em alguns milhões de anos. Os processos baseados em Computação Evolucionária também podem ser utilizados como eficientes solucionadores de otimização e manipulação de restrições. Além disso, muitos dos fenómenos do mundo real, objeto do estudo da vida, economia e sociedade podem ser investigados através de simulações com base em sistemas evolucionários.

Por fim, mas não menos importante, a Arte Evolucionária (no caso mais específico da Música Evolucionária), forma um campo emergente de enorme potencial para a aplicação dos ideais de Charles Darwin. Também nesta área da Música Evolucionária estão em constante desenvolvimento novos programas e algoritmos de composição, pelo que os futuros desenvolvimentos na arte performativa que é a Música (tanto ao nível conceptual como estético) podem ser decididos tendo como base o apoio da Computação Evolucionária.

Ao longo deste documento foram sendo apresentadas algumas considerações e conclusões que possibilitaram sustentar as opções tomadas ao longo de desenvolvimento do trabalho.

Neste último capítulo é realizada uma síntese das principais conclusões, abordada a relevância do trabalho realizado e são perspetivados futuros desenvolvimentos.

A primeira parte do trabalho funcionou como base de sustentação para a construção do algoritmo genético. Pela análise estatística realizada aos fados escolhidos foi possível corroborar que se trata de um género musical caracteristicamente tonal. As notas musicais mais predominantes eram as que fazem parte da tonalidade da música, sobretudo o 1º, 3º e 5º graus, base dos acordes tónico e dominante que são os mais prevalentes no fado. Embora tal não seja depreendido diretamente do estudo estatístico efetuado, foi possível verificar que em termos rítmicos não existe uma homogeneidade entre as melodias analisadas. Verificam-se diferentes compassos, bem como estruturas frásicas díspares. Ainda que se sirva de fórmulas de compasso distintas (ternário e quaternário, essencialmente), o Fado é por si só um estilo musical de certa forma um pouco liberto da exigência de um estrito rigor rítmico, quer pela utilização frequente de suspensões quer de notas com duração *ad libitum*, etc... A linha melódica, embora esteja ritmicamente sujeita ao suporte rítmico que lhe é fornecido pelos instrumentos, tende a libertar-se, expandindo-se, por vezes livremente e com ênfase.

Quanto à segunda parte do trabalho, relativa à implementação prática do programa há também algumas considerações a retirar. O facto da população inicial ter sido criada pelo autor e em consonância com os resultados obtidos na primeira parte, condicionou à partida a atividade do algoritmo genético, uma vez que as melodias são bastante audíveis e boas melodicamente. Esta circunstância justifica a evolução pouco expressiva da *fitness* dos indivíduos que se verifica ao longo das gerações do AG, como no exemplo apresentado no capítulo 6 (Figura 68).

Torna-se também importante frisar uma vez mais, que se trata da avaliação de uma forma de expressão artística, por parte de um utilizador humano. Assim, essa avaliação é algo subjetiva e abstrata, para além de se tratar de uma tarefa repetitiva e monótona. O utilizador pode inclusive “sabotar” a avaliação, atribuindo valores de *fitness* exageradamente baixos (ou altos), sem a necessária concentração e discernimento.

No que diz respeito a melhoramentos futuros, existem alguns aspetos que poderiam ser aperfeiçoados. Em relação à análise estatística, esta poderia ser alargada a outros pontos, nomeadamente: em termos rítmicos, com o estudo do número e fórmulas de compassos

prováveis, bem como ao estabelecimento de uma possível estrutura frásica padrão; ao nível harmónico, com uma pesquisa dos acordes e suas sequências prováveis relativamente à melodia.

Em relação ao programa desenvolvido, há também alguns aspetos que seria interessante melhorar. Por exemplo, a aplicação gerar a população inicial de acordo com a análise estatística prévia, ou então dar a possibilidade ao utilizador de “carregar” os indivíduos (em formato MIDI, ou então em notação musical de formato *MusicString*) para população inicial e ver qual o comportamento do AG em relação a essas melodias. Também poderia ser interessante deixar o utilizador escolher o número de pontos de corte para cruzamento. Ainda neste ponto, e num patamar mais elevado em termos de complexidade, seria aliciante tentar estabelecer uma forma de avaliação das melodias sem a necessidade de interação humana.

No que toca à portabilidade e expansão do programa seria aliciante a integração da aplicação em ambiente *online*, permitindo que vários utilizadores (devidamente registados e mediante a validação de credenciais de acesso) pudessem ir classificando os indivíduos (melodias) de forma a conseguir uma avaliação mais abrangente, com várias opiniões diferentes e durante um maior número de gerações. À medida que o AG ia progredindo, os resultados iam sendo gravados num servidor, o que possibilitaria aos utilizadores efetuar paragens neste processo de avaliação marcadamente repetitivo, podendo retomar essa tarefa mais tarde.

Referências Documentais

- [1] *Definição de Música*. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2011. [Consult. 2012-02-15]. Disponível na www: <URL: <http://www.infopedia.pt/pesquisa-global/Música>>
- [2] FREITAS, Alan – *Música Evolutiva: Uma Abordagem Computacional para Composição Algorítmica*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, na Universidade Federal de Ouro Preto. Brasil. 2010
- [3] *History of Music* – <http://en.wikipedia.org/wiki/Music>. [Consult. 2012-02-18].
- [4] GONÇALVES, Pinto – *Breve Panorama da História da Música Ocidental*. Recolha e seleção pessoal de textos. Edição de autor.
- [5] NATTIEZ, Jean-Jacques. *Music and discourse: toward a semiology of music*. Princeton University Press, 1990. 48, 55 p. ISBN 0691027145
- [6] CANDÉ, Roland de – *História Universal da Música*. 2 Vol. São Paulo: Martins Fontes. 2001. ISBN 8533615000
- [7] OLIVEIRA, Marlene – *História da Música*. Recolha e seleção pessoal de textos. <http://musicamusica.com.sapo.pt/> [Consult. 2012-02-21].
- [8] Portal de Educação Musical do Colégio Pedro II – *Música Ocidental*. <http://www.portaledumusicalcp2.mus.br/>. [Consult. 2012-02-21].
- [9] MASSIN, Jean; MASSIN, Brigitte. – *História da Música Ocidental*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 1255 p. ISBN 85-209-0907-8
- [10] NEIGHBOUR, O. W. – *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. Londres: Macmillan, 2001. 577–604 p. vol. xxii. ISBN 1561591742
- [11] *Música em Portugal no Século XX*. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2011. [Consult. 2012-02-22]. Disponível na www: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$musica-em-portugal-no-seculo-xx](http://www.infopedia.pt/$musica-em-portugal-no-seculo-xx)>
- [12] PLACK, C., OXENHAM, A., FAY, R. & POPPER, A. – *Pitch: neural coding and perception*. Springer Verlag 2005.
- [13] OLSON, H. – *Music, physics and engineering*, Dover Publications. 1967.
- [14] MATHIEU, W. – *Harmonic experience: tonal harmony from its natural origins to its modern expression*, Inner Traditions International, Rochester, Vt.1997.
- [15] KENNEDY, M. & BOURNE, J. – *The concise Oxford dictionary of music*. Oxford University Press, USA. 2004.
- [16] WARD, W. – Musical perception, *Foundations of modern auditory theory* 1: 407–447. 1970.
- [17] ERICKSON, R. – *Sound structure in music*, University of California Press. 1975.

- [18] PIERCE, J. – Introduction to pitch perception, *Music, cognition, and computerized sound*, MIT Press, 1999. p. 70.
- [19] MALM, W. – *Music cultures of the Pacific, the Near East, and Asia*, Prentice Hall. 1996.
- [20] SCHELLENBERG, E., BIGAND, E., POULIN-CHARRONNAT, B., GARNIER, C. & STEVENS, C. – Children's implicit knowledge of harmony in western music, *Developmental Science* 2005. p. 551-566.
- [21] NICKOL, P. – *Learning to Read Music: How to Make Sense of Those Mysterious Symbols*, How to Books Ltd. 1999.
- [22] EIBEN, A.E. & SCHOENAUER, M. – *Evolutionary computing*. Inform. Process. Letters, 82. Elsevier. 2002. pp. 1–6
- [23] GRILO, Carlos – *Aplicação de Algoritmos Evolucionários à Extração de Padrões Musicais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática, sob a orientação do Professor Doutor Fernando Amílcar Bandeira Cardoso e apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, na área científica de Inteligência Artificial, em Novembro de 2002.
- [24] MITCHELL, M. – *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, 1996.
- [25] *Evolutionary Music* – http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_music. [Consult. 2012-01-10].
- [26] MORONI, A., Manzoli, J., VON ZUBEN, F. & GUDWIN, R. – *Vox Populi: Evolutionary Computation for Music Evolution*. 2001.
- [27] COELHO, Pedro – *Programação em JAVA*. 3ª Edição. Lisboa: FCA Editora de Informática. 2009. ISBN 978-972-722-361-9
- [28] *JFugue: Java API for Music Programming* – <http://www.jfugue.org>. [Consult. 2012-07-01].
- [29] KOELLE, David – *The Complete Guide to JFugue*. 1ª Edição. Edição de autor. 2008
- [30] *Site do Netbeans IDE* – <http://www.netbeans.org>. [Consult. 2012-08-02].
- [31] *Site do Finale* – <http://www.finalemusic.com>. [Consult. 2012-08-10].
- [32] *Finale (software)* – [http://en.wikipedia.org/wiki/Finale_\(software\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Finale_(software)). [Consult. 2012-08-10].
- [33] *Teoria Musical* – http://pt.wikipedia.org/wiki/Categoria:Teoria_musical. [Consult. 2012-07-12].
- [34] ADAMS, Ricci – *Music Theory*. <http://www.musictheory.net/>. [Consult. 2012-07-17]
- [35] PLATZER, Frédéric – *Compêndio de Música*. 1ª Edição. Lisboa: Edições 70. 2009. ISBN 978-972-441-329-7
- [36] NERY, Rui Vieira – *Para uma história do Fado*. 1ª Edição. Lisboa: Edições Público. 2005.
- [37] CABRAL, Pedro Caldeira – *O precursor do Fado viveu em Viana do Castelo*. 2008. Disponível em: <http://www.redeeskilo.com/?p=62#more-62>. [Consult. 2012-03-04].

- [38] UNESCO: *Fado, urban popular song of Portugal*.
<http://www.unesco.org/culture/ich/index.php?lg=en&pg=00011&RL=00563>
 [Consult. 2012-07-25].
- [39] HOMEM, Armando Luís de Carvalho – *O Fado de Coimbra na Academia do Porto*. 1999. Disponível em: <http://guitarradecoimbra.blogspot.pt/2005/08/fado-o-de-coimbra-na-academia-do-porto.html>. [Consult. 2012-03-10].
- [40] Fado - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fado>. [Consult. 2012-02-10].
- [41] C.M. Coimbra – *História do Fado de Coimbra*. Disponível em: http://www.cm-coimbra.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=467. [Consult. 2012-03-03].
- [42] MED, Bohumil – *Teoria da Música*. 4ª Edição. Brasil: Edições Musimed. 1996.
- [43] *Danza de Cogul* – http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Cogul_HBreuil.jpg. [Consult. 2012-02-18].
- [44] *Music Lesson* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Music_lesson_Staatliche_Antikensammlungen_2421.jpg. [Consult. 2012-02-18].
- [45] *Christian and Muslim playing ouds* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Christian_and_Muslim_playing_ouds_Catinas_de_Santa_Maria_by_king_Alfonso_X.jpg. [Consult. 2012-02-18].
- [46] *Johann Sebastian Bach by Elias Gottlob Haussmann* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Johann_Sebastian_Bach.jpg. [Consult. 2012-02-21].
- [47] *Wolfgang Amadeus Mozart by Barbara Kraft* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wolfgang-amadeus-mozart_1.jpg. [Consult. 2012-02-21].
- [48] *Ludwig van Beethoven by Joseph Karl Stieler* – <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Beethoven.jpg>. [Consult. 2012-02-21].
- [49] *Frédéric Chopin by Maria Wodzińska* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chopin,_by_Wodzinska.JPG. [Consult. 2012-02-21].
- [50] *Franz Liszt by Pierre Petit* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Franz_Liszt_by_Pierre_Petit.png. [Consult. 2012-02-21].
- [51] *Claude Debussy Photo by Félix Nadar* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:Claude_Debussy_ca_1908,_foto_av_F%C3%A9lix_Nadar.jpg. [Consult. 2012-02-21].
- [52] *Igor Stravinsky* – <http://www.loc.gov/pictures/resource/ggbain.32392/>. [Consult. 2012-02-21].
- [53] *George Gershwin* – http://en.wikipedia.org/wiki/File:George_Gershwin_1937.jpg. [Consult. 2012-02-21].

- [54] *Arnold Schoenberg* –
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Arnold_Schoenberg_la_1948.jpg. [Consult. 2012-02-21].
- [55] *Música do Século XX* –
http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsica_do_s%C3%A9culo_XX. [Consult. 2012-02-22]
- [56] *Amália Rodrigues* –
<http://www.lastfm.com.br/music/Am%C3%A1lia+Rodrigues/+images/5137821>. [Consult. 2012-02-22].
- [57] *António Victorino de Almeida* –
http://2.bp.blogspot.com/_2R3MJ0Y9LVY/SVw1S5kQ7WI/AAAAAAAAAHGU/-ZDm7ZdnyJ8/s400/ant+Viot+Alm.jpg. [Consult. 2012-02-22].
- [58] *Painel “O Fado” de José Malhoa* –
http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Jose_malhoa_fado.jpg. [Consult. 2012-07-25]
- [59] *Imagem alusiva ao Fado de Coimbra* –
http://ofado.no.sapo.pt/images/04_01%20tipo%20de%20fado.JPG. [Consult. 2012-03-10].
- [60] *Serenata Monumental da Queima das Fitas de Coimbra* –
http://4.bp.blogspot.com/_7mKI4i-2KtI/Rxx6MulFDPI/AAAAAAAAAC8/ZB1jrgClonc/s400/Foto2.jpg. [Consult. 2012-03-10].

Anexo A. Músicas selecionadas para análise

Fados em Lá menor	Fados em Ré maior
<p>Asas Brancas Letra: Afonso de Sousa Música: Afonso de Sousa</p>	<p>Balada dos Meus Amores Letra: Edmundo de Bettencourt Música: Luiz Goes</p>
<p>Balada do Florêncio Letra: Florêncio de Carvalho Música: Florêncio de Carvalho</p>	<p>Canção da Infância Letra: Armando Goes Música: Armando Goes</p>
<p>Balada do Outono Letra: José Afonso Música: José Afonso</p>	<p>Cantiga para quem sonha Letra: Leonel Neves Música: João Gomes</p>
<p>Canção das Lágrimas Letra: Armando Goes Música: Armando Goes</p>	<p>Fado do Alentejo Letra: António de Sousa / António Menano Música: António Menano</p>
<p>Cantar de Emigração Letra: Rosalía de Castro (adapt. José Niza) Música: José Niza</p>	<p>Feiticeira Letra: Ângelo de Araújo Música: Ângelo de Araújo</p>
<p>Fado Alentejano Letra: popular Música: Armando Goes</p>	<p>Igreja de Santa Cruz Letra: João Fortuna / Fortunato da Fonseca Música: Fortunato da Fonseca</p>
<p>O Meu Fado Letra: popular Música: Armando Goes</p>	<p>Maria se fores ao baile Letra: popular / Ângelo de Araújo Música: Sargento Robles (arranjo de Ângelo de Araújo)</p>
<p>Saudades de Coimbra Letra: António de Sousa Música: Mário Faria da Fonseca</p>	<p>Ondas do mar Letra: Carlos Figueiredo Música: Carlos Figueiredo</p>
<p>Senhora do Almortão Letra: popular Música: popular (arranjo de Artur Paredes)</p>	<p>Passarinho da Ribeira Letra: autor desconhecido Música: António Menano</p>
<p>Solitário Letra: Horácio Menano Música: Francisco Menano</p>	<p>Samaritana Letra: Álvaro Cabral Música: Álvaro Cabral</p>

Anexo B. Tabelas com resultados da Primeira Parte

Fados em Lá menor

		Músicas										TOTAL	% Utilização
		Asas Brancas	Balada de Florêncio	Balada do Outono	Canção das Lágrimas	Cantar de Emigração	Fado Alentejano	O Meu Fado	Saudades de Coimbra	Senhora do Almortão	Solitário		
Notas	C	17	5	9	11	16	14	10	9	10	10	111	14,567%
	C# / Db	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
	D	8	2	9	11	10	18	2	8	11	4	83	10,892%
	D# / Eb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
	E	10	9	14	6	12	17	23	22	35	6	154	20,210%
	F	2	11	3	10	8	7	3	8	16	6	74	9,711%
	F# / Gb	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	1,181%
	G	7	14	4	2	4	3	0	6	12	2	54	7,087%
	G# / Ab	4	2	4	3	0	2	6	1	7	6	35	4,593%
	A	24	13	17	7	8	6	18	4	20	20	137	17,979%
	A# / Bb	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	6	0,787%
	B	14	11	11	12	4	11	3	4	18	11	99	12,992%
Total	89	67	71	62	62	78	65	65	138	65	762		

Fados em Ré maior

		Músicas										TOTAL	% Utilização
		Balada dos Meus Amores	Canção da Infância	Cantiga para quem sonha	Fado do Alentejo	Feiticeira	Igreja de Santa Cruz	Maria se fores ao baile	Ondas do Mar	Passarinho da Ribeira	Samaritana		
Notas	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
	C# / Db	7	13	6	4	23	10	12	19	9	24	127	12,271%
	D	9	27	19	12	17	4	17	10	11	30	156	15,072%
	D# / Eb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
	E	13	14	18	18	4	6	2	1	8	31	115	11,111%
	F	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0,193%
	F# / Gb	14	17	32	22	9	10	2	1	4	38	149	14,396%
	G	15	11	8	16	14	10	2	2	2	22	102	9,855%
	G# / Ab	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0,386%
	A	6	29	31	20	13	16	16	10	19	39	199	19,227%
	A# / Bb	2	2	0	0	4	0	5	13	0	0	26	2,512%
B	13	16	6	0	24	10	13	20	12	41	155	14,976%	
Total		79	130	123	92	108	66	70	77	65	225	1035	

Indivíduo criados para população inicial (Lá menor)

		Músicas				TOTAL	% Utilização
		Indivíduo 1	Indivíduo 2	Indivíduo 3	Indivíduo 4		
Notas	C	6	5	6	5	22	18,333%
	C# / Db	0	0	0	0	0	0,000%
	D	3	3	4	3	13	10,833%
	D# / Eb	0	0	0	0	0	0,000%
	E	2	4	3	6	15	12,500%
	F	0	3	3	5	11	9,167%
	F# / Gb	0	0	0	0	0	0,000%
	G	2	1	2	2	7	5,833%
	G# / Ab	3	2	2	3	10	8,333%
	A	9	6	6	3	24	20,000%
	A# / Bb	0	0	0	0	0	0,000%
	B	5	6	4	3	18	15,000%
Total	30	30	30	30	120		

Indivíduo criados para população inicial (Ré maior)

		Músicas				TOTAL	% Utilização
		Indivíduo 1	Indivíduo 2	Indivíduo 3	Indivíduo 4		
Notas	C	0	0	0	0	0	0,000%
	C# / Db	2	3	3	4	12	10,000%
	D	6	3	3	6	18	15,000%
	D# / Eb	0	0	0	0	0	0,000%
	E	2	5	4	4	15	12,500%
	F	0	0	0	0	0	0,000%
	F# / Gb	8	6	2	4	20	16,667%
	G	4	4	3	4	15	12,500%
	G# / Ab	0	0	0	0	0	0,000%
	A	5	6	7	3	21	17,500%
	A# / Bb	0	0	0	0	0	0,000%
	B	3	3	8	5	19	15,833%
Total	30	30	30	30	120		