

## Composição Algorítmica

**Prof. Marcelo Soares Pimenta**  
*mpimenta@inf.ufrgs.br*

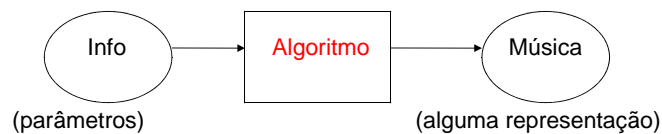
Porto Alegre , 2009-2

## Roteiro

- Conceito
- História
- Tipos
- Exemplos

## Composição Algorítmica

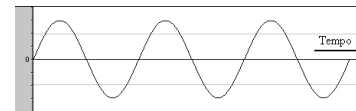
Composição algorítmica: é a criação de música com auxílio de um algoritmo.



**Algoritmo** em um sentido amplo:  
qualquer conjunto de instruções que admita a noção de entrada e saída, e que possa ser executado em um número finito de “passos”.

## O som e seus elementos básicos

- SOM = vibração do ar
- Representação gráfica:



Representação gráfica, no domínio temporal, de uma forma de onda senoidal

- Os 3 elementos básicos do som:
  - Altura tonal ( agudo, grave)
  - Volume ( intensidade )
  - Timbre ( forma de onda )

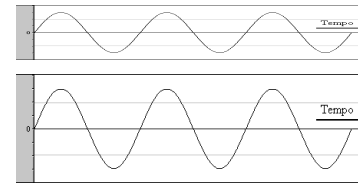
## Altura tonal

- Som grave (menor número de ciclos /tempo)
- Som agudo (maior número de ciclos /tempo)
- 1 ciclo da onda em 1s = 1Hz
- Freqüência = nº de ciclos na unidade de tempo
  - 100 Hz = 100 ciclos por segundo
- Som com a freqüência dobrada = “1 oitava”
- Freqüência e altura tonal -> relação logarítmica
- Ouvido humano tem percepção limitada

5

## Volume

- Representa a intensidade do som
  - Exemplo de som forte:
  - Exemplo de som fraco:
- Não confundir com “alto” e “baixo” (altura tonal)
- Altera a altura da onda (amplitude)
- É determinado pela sua amplitude



6

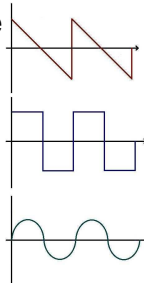
## Timbre

- Diferencia sons de mesmo volume e mesma altura
- Está relacionado com a forma da onda
- Exemplo de formas de onda, timbre e instrumentos:

– Dente-de-serra (claro)- Ex violino, trompete

– Retangular (simples) - Ex - clarinete, oboé

– Senoidal (suave) Ex - flauta, assovio



7

## Histórico (1)

- **1757:** Johann Kirnberger, pupilo de Bach, publica
- “*Der allezeit fertige Polonaisen und Menuetten Komponist*”, livro que ensina o leitor a compor *Polonaises* e minuetos sem precisar de expertise.
- **1793:** É publicado, *post mortem*, o “Musikalisches Würfelspiel” (jogo de dados), com autoria atribuída a Wolfgang Amadeus Mozart.
- **1840:** Ada Lovelace propõe a Charles Babbage utilizar sua máquina analítica para criar música.
- **~1920:** Arnold Schönberg cria o serialismo dodecafônico: composição feita a partir da repetição de um elemento atômico que sofre transformações bem definidas.
- **~1945:** Messiaen, Boulez e outros, estendem a técnica de Schönberg para outros parâmetros musicais, como duração e dinâmica.
- **1951:** John Cage utiliza-se do I Ching para tomar decisões composicionais, como qual nota usar e quando incluí-la na composição.

## Histórico (2)

- **1957:** Lejaren Hiller e Leonard Isaacson criaram a que é considerada a primeira composição automaticamente gerada por computador : “The Illiac Suite for String Quartet”, utilizando cadeias de Markov e outros artifícios.
- **1957:** Boulez cunha o termo “acaso controlado”, e a emprega na criação de sua “*Third Piano Sonata*”, delegando ao executor da composição a escolha de alguns elementos a partir de conjuntos (não muito grandes) de possibilidades.
- **1969:** John Cage e Lejaren Hiller criam o *HPSCHD*, obra multimídia composta em função de números pseudo-aleatórios gerados por um computador.
- **1970:** Stockhausen cria o “formula composition”, técnica derivada do serialismo dodecafônico de Schönberg.

## Mozart

- Sistemas tabulares de composição
- Alguns desses sistemas eram impressos em livros, prometendo ao leitor a autoria de composições primorosas, mesmo sem a formação (e/ou genialidade) musical.
- VER: <http://sunsite.univie.ac.at/Mozart/dice/#options>
- Measure numbers are indicated in the horizontal axis(1 - 16)
- Dice roll indicated in the vertical axis (2-12 for the Minuet, 1-6 for the Trio).
- For example, in composing measure 1, if you rolled a 9, you would play measure 119 of the 196 possible Minuet measures.

Minuet  
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16  
2 96 22 141 41 105 122 11 30 70 121 26 9 112 49 109 14  
3 32 6 128 63 146 46 134 81 117 39 126 56 174 18 116 83  
4 69 95 158 13 153 55 110 24 66 139 15 132 73 58 145 79  
5 40 17 113 85 161 2 159 100 90 176 7 34 67 160 52 170  
6 148 74 163 45 80 97 36 107 25 143 64 125 76 136 1 93  
7 104 157 27 167 154 68 118 91 138 71 150 29 101 162 23 151  
8 152 60 171 53 99 133 21 127 16 155 57 175 43 168 89 172  
9 119 84 114 50 140 86 169 94 120 88 48 166 51 115 72 111  
10 98 142 42 156 75 129 62 123 65 77 19 82 137 38 149 8  
11 3 87 165 61 135 47 147 33 102 4 31 164 144 59 173 78  
12 54 130 10 103 28 37 106 5 35 20 108 92 12 124 44 131

## Schoenberg



**Arnold Schönberg**  
(1874-1951)

- Compositor e Teórico Musical (harmonia, etc)
- Renovação face à saturação musical do sistema tonal e dos processos de composição de Wagner, Strauss e Mahler
- Inventor do Serialismo Dodecafônico
- “Assegura igualdade no número de ocorrências de cada uma das doze notas da escala temperada”
- A composição serial começa definindo uma “base” chamada *prime series*.
- Uma *prime series* é uma permutação das doze notas da escala temperada.
- Obviamente, em uma *prime series* cada nota ocorre exatamente uma vez.
- Naturalmente, existem então  $12! \approx 4,7 \cdot 10^8$  *prime series* possíveis.

## Serialismo

Composição Serial :  
Repetição de um número arbitrário de uma *prime series* fixa.

Em cada repetição, permitem-se transformações:

- Transposição (aumentar ou diminuir igualmente a altura de cada nota)
- Retroagir (reversão temporal)
- Inverter (reversão de alturas)

*prime series*:  
B, Bb, G, C#, Eb, C, D, A, F#, E, Ab, F

Sua retrógrada é:  
F, Ab, E, F#, A, D, C, Eb, C#, G, Bb, B

sua inversa é:  
B, C, Eb, A, G, Bb, Ab, C#, E, F#, D, F

# John Cage



(1912-1992)

- Inovador e Polêmico
- **4'33''**
- Aleatoriedade na composição:  
“*Music of Changes*” I-Ching
  - Dinâmica, durações de silêncio e notas
- Aleatoriedade na composição E execução:  
“*Imaginary Landscape No. 4*”
  - Composição via I-Ching
  - Execução: 24 intérpretes que utilizam 12 rádios real-time;

# Hiller e a suíte ‘Illiac’



**Lejaren Hiller**  
(1924-1994)

- 1957: Lejaren Hiller e Leonard Isaacson programaram o ‘cérebro eletrônico’ *Illiac I* para gerar um quarteto de cordas
- **1<sup>st</sup> mov:** distribuição uniforme de probabilidade das notas e forçado um contraponto simples (técnica *generate and test*)
- **2<sup>nd</sup> mov:** Notas aleatórias que ao longo do tempo começavam a sofrer restrições
- **3<sup>rd</sup> mov:** Notas iguais para cada instrumento; e logo dava-se lugar a notas aleatoriamente escolhidas: primeiramente usando regras composicionais clássicas préestabelecidas (escalas) e depois usando regras do serialismo.
- **4<sup>th</sup> mov:** Gerado de acordo com uma cadeia de Markov que determinava a próxima nota a ser tocada, em função de uma ou mais notas anteriores.
- Article in Scientific American: furor dos músicos...
- 1969: apres. Multimídia HPSCHD com J. Cage

# Placa



## Algorithmic Music

### Example 1: *Illiac Suite* by Lejaren Hiller and Leonard Isaacson, 1956.

Historical example considered at the first piece  
« composed » with a computer  
Generative mathematical models  
Selection and combination of notes and chords following predefined formalized rules



### Algorithmic composition.

Pierre Barbaud, Iannis Xenakis, André Riotte & Marcel Mesnage, David Cope, ...

→ Program the computer in order to make it create music

→ Towards an "automated art": algorithmic processes in Xenakis' compositions

### Example 2: *Partiels* by Gerard Grisey, 1975.

Considered as the origin of "Spectral Music"

- The source is the low E note on the trombone.

- The transformation is an exploration of the spectral content of this note by the whole orchestra.

- Litteral reconstruction or transformations inspired by electro-acoustics operators (distortion, ring-modulation, filtering...)

⇒ Highlights the need for Computer-Aided Composition environments

## Composição Algorítmica

- Introduzir parâmetros externos ao compositor para organização/composição
  - Passado: dados, cartas
  - Hoje: fórmulas, teorias
- Tipos de composição algorítmica:
  - Estocástica
  - Baseada em Regras (rule-based) ou Gramáticas
  - IA (Redes Neurais, Autômatos Celulares)

17

## Composição Estocástica

- Estudo de diferentes tipos de distribuição de dados numéricos num espectro e de diferentes relacionamentos entre os estados desta distribuição, com atribuição de pesos e parâmetros sonoros para configurar música
- Exemplos: Iannis Xenakis (Musiques Formelles), Lejane Hiller, Charles Ames

18

## Composição Baseada em regras

- Definição de sistemas de regras de composição
- Ex. de regras (William Schottstaedt):
  - "Parallel fifths are not allowed"
  - "Avoid tritones near the cadence in Lydian mode."
- Regras têm pesos na aplicação e penalidades associadas a quebras. Quebras acumuladas causam reversibilidade de decisões e leva a novas soluções...
- Sistema EMI (David Coper) : gerou 5000 corais no estilo de J.S. Bach - ver <http://arts.ucsc.edu/faculty/cope/>
  - 350 regras e algumas heurísticas para guiar decisões e criar atalhos para reduzir tempo de composição
  - Quem compôs: Bach, EMI ou D. Cope ?????

19

## IA: Autômatos celulares

- IA: "aprendizagem" difere de mera aplicação de regras e gramáticas
- Autômato celular:
  - Grupo de células que evoluem no tempo
  - Os estados são alterados de acordo com o comportamento das células vizinhas no tempo
  - O autômato decide a formação de padrões de oscilação eventuais e orgânicos
- CAMUS (Miranda)
  - autômatos celulares
  - síntese granular

20

## Slides - Plymouth

- Do 1 ao 20
  - Markov
  - Constraint-based

21

## Exemplos Musicais

- Minuetos (Mozart)
- Hiller & Isaacson - Suite Illiac - 1<sup>st</sup> mov
- Iannis Xenakis – Eonta – part 1
- EMI -generated Invention (after Bach) e genuine Bach Invention

22

## Material disponibilizado

- PDFs sobre Composicao Algoritmica - aulas Univ. Plymouth (coord. Miranda)
- Material sobre o processo de composição da suite Illiac de Hiller
- Texto sobre obra de Iannis Xenakis
- Arquivos MP3 das obras
  - suite Illiac, 1st mov de L. Hiller & L. Isaacson (1957)
  - Eonta, part 1, Xenakis (1971)
  - Invention 'After Bach' (composta usando EMI - David Cope (comparar com alguma invenção 'genuína': <http://www.kunstderfuge.com/bach/harpsi.htm#Inventions> )

23