

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Relatório final do Projeto do Laboratório de Inovação e Desenvolvimento

Julho 2021

Super Cleópatra

Sintetizador Audio-Visual



Diogo Miguez - **90057**

Thomas Gaehtgens - **86809**

1 Sintetizador Audio-Visual *Super Cleópatra*

1.1 A ideia

Propusemo-nos fazer um sintetizador audio-visual e o grande desafio foi como interagir com o mesmo, de forma intuitiva.

Consideramos duas componentes na interação, as frequências dos osciladores (as notas musicais), e os restantes parâmetros do motor de síntese. Para os parâmetros, adoptamos uma abordagem mais conservadora, sendo estes valores escolhidos através de *sliders*. Para a escolha das notas, pensamos num sistema menos convencional, de "bolas saltitantes" num piano com várias escalas à escolha, sendo as notas tocadas quando uma das bolas cai numa das teclas.

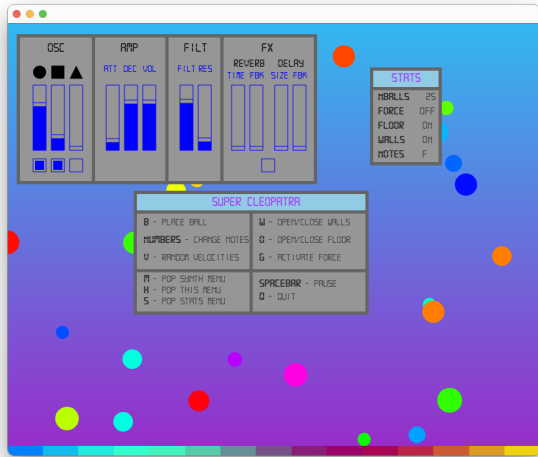


Figure 1: Sintetizador Audio-Visual Super Cleopatra em funcionamento, com todas as janelas abertas

Em (1) encontra-se um tutorial do funcionamento da Super Cleopatra.

2 Implementação

O projeto foi desenvolvido em C++, tendo sido utilizada o conjunto de bibliotecas multimédia *OpenFrameworks* (2) e um *addon ofxMaximillian* (3), que contém a implementação do algoritmo de FFT e IFFT, utilizado na síntese do som. Para além da classe base de *OpenFrameworks*, *ofApp*, implementaram-se as classes *Ball*, *Menu*, *Slider* e *Toggle*. O código encontra-se disponibilizado no repositório *Github* (5).

2.1 Graphical User Interface (GUI)

A interface do utilizador é constituída por bolas saltitantes, o piano na base, um menu com instruções, um menu com informações e um menu do motor de síntese de som.

2.1.1 Bolas saltitantes

Quando uma bola é criada, a sua posição inicial é a posição do rato, a sua velocidade inicial é nula e a sua cor e raio são gerados aleatoriamente dentro de conjuntos limitados. Considera-se uma força constante a apontar para baixo, e ainda uma força atractiva na direcção do rato. A evolução no tempo é feita definindo um *step* temporal $\Delta t = 0.01$ e resolvendo as equações de movimento das bolas:

$$\ddot{x}(t) = a \frac{d_x}{|d|}(\mathbf{r}, t) \quad (1)$$

$$\ddot{y}(t) = g + a \frac{d_y}{|d|}(\mathbf{r}, t) \quad (2)$$

onde g e a são parâmetros numéricos e \mathbf{d} é o vector que parte da posição da bola até à posição do rato. Utilizamos o seguinte algoritmo para a evolução temporal, com erro da ordem de $(\Delta t)^3$:

$$x_{n+1} = x_n + \Delta t \dot{x}_n + \Delta t^2 \ddot{x}_n \quad (3)$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \dot{y}_n + \Delta t^2 \ddot{y}_n \quad (4)$$

, onde

$$\dot{x}_n = (x_n - x_{n-1})/\Delta t \quad (5)$$

$$\dot{y}_n = (y_n - y_{n-1})/\Delta t \quad (6)$$

Para além disso, considerámos também a existência de chão e paredes, ambos rígidos. Implementámos colisões elásticas, sendo a velocidade simplesmente invertida aquando da colisão (em x nas paredes e em y no chão).

É ainda permitido capturar bolas, seleccionando-as com o rato, e atirá-las com a velocidade que se desejar.

2.1.2 Menu SUPER CLEOPATRA

É o menu que contém as instruções para utilizar o programa. Indica como posicionar uma bola, como atribuir velocidades aleatórias a todas as bolas, como ativar ou desativar a força atractiva do rato, as paredes e o chão, como pôr em pausa, como sair, como abrir ou fechar cada menu e ainda como mudar as notas

que estão a ser tocadas.



Figure 2: Menu Super Cleopatra

2.2 Menu de informações

O menu de informações contém o número de bolas atual, diz se a força do rato está ou não ativada, se o chão e as paredes estão abertos ou fechados, e ainda que notas estão a ser tocadas no piano. As notas podem pertencer à escala pentatónica ou à escala de dó menor com alguns acordes de empréstimo de outras escalas vizinhas.



Figure 3: Menu de Informações

2.3 Motor de Síntese

O princípio de síntese baseia-se em *subtractive synthesis*¹, que consiste em esculpir a função de onda do oscilador através de filtros, envelopes, etc.

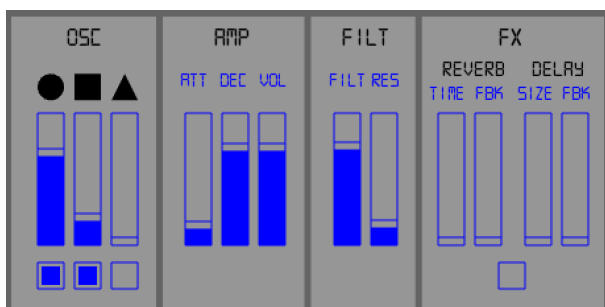


Figure 4: Menu do motor de síntese.

2.3.1 Osciladores e Envelope

Foram utilizados 3 osciladores por cada bola, correspondendo a ondas sinudoidais, quadradas e triangulares. A primeira parte do motor de síntese consiste numa soma por pesos destes 3 osciladores.



Figure 5: Função de onda dos osciladores utilizados.

Para dar início e fim a cada nota, é utilizado um envelope, que atinge o seu valor máximo num tempo definido como *attack time* e demora um tempo de *decay time* até ser nulo. Ambos estes parâmetros e o volume do sintetizador, são controlados a partir da secção de *Amplifier* do menu do motor de síntese.

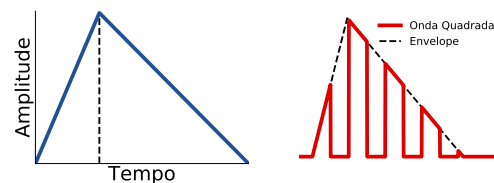


Figure 6: Envelope *attack* / *decay* - esquerda - Exemplo de aplicação do envelope a uma onda quadrada - direita.

2.3.2 Filtro

De forma a atenuar os harmónicos presentes nas ondas quadradas e triangulares, foi emulado filtro passa-baixo ressonante, com uma função de ganho composta pela soma de duas funções com características específicas.

A função de ganho é aplicada à transformada de Fourier da função de onda, obtida computacionalmente através do algoritmo FFT (Fast Fourier Transform). Finalmente, aplica-se o algoritmo IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) de modo a obter-se a função de onda filtrada, que é encaminhada para o *Buffer*, de modo a produzir um som a partir das colunas do computador.

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Subtractive_synthesis

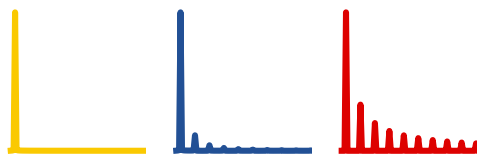


Figure 7: FFT das funções de onda usadas nos osciladores.

A componente da função de ganho responsável pela atenuação das frequências agudas é a de Butterworth (7), sendo o valor de n fixado no valor 4 e o parâmetro ω_c escolhido na secção *Filter*

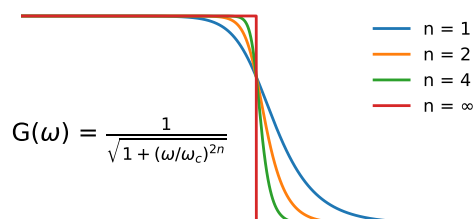


Figure 8: Filtro Butterworth.

A parte ressonante da função de ganho, é associada a uma função Crystal ball(8), onde o único parâmetro livre é o coeficiente Q , que dita a altura do pico de ressonância.

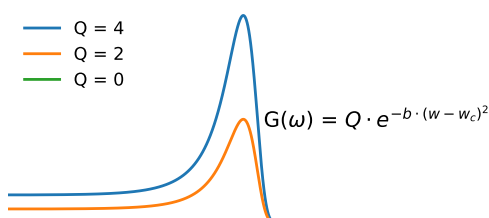


Figure 9: Função Crystal Ball.

A forma da curva da função de ganho encontra-se de seguida.

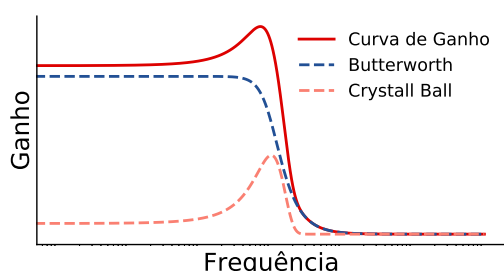


Figure 10: Filtro utilizado.

3 Composição de um tema

A composição do tema no âmbito do projeto, encontra-se em (4). O tema composto intitula-se "Os instrumentos digitais também são instrumentos a sério" e, tal como o nome indica, procura reivindicar a importância dos instrumentos digitais, na música. Foi executado usando exclusivamente a Super Cleópatra e um efeito de pós produção *reverb*, externo.

4 Conclusão

O projeto teve sucesso, na medida em que foram satisfeitos todos os objetivos propostos.

No entanto, há bastante espaço para melhorias, nomeadamente a implementação de um módulo de efeitos, que já foi começada. Procuraremos também expandir a seleção de escalas; introduzir modos de aparência temáticos, como modo escuro, modo *disco*, modo *natalício*, etc.

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=153vmuNP-Pc>

[2] <https://openframeworks.cc>

[3] <https://github.com/micknoise/Maximilian>

[4] <https://supercleopatra.bandcamp.com/releases>

[5] https://github.com/diogommiguez/Super_Cleopatra

[6] <https://openframeworks.cc/ofBook/chapters/sound.html>

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter

[8] https://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_Ball_function

[9] Boulanger, R. and Lazzarini, V., 2011. The audio programming book. Cambridge, Mass.: MIT Press.