Sonificação de dispositivos instrumentados utilizados em reabilitação

Rui Pedro Antunes Torres

Dissertação de Mestrado

Orientadores:
Maria Teresa Restivo
Paulo Augusto Ferreira de Abreu



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ramo de Automação

Junho 2019

A música é uma necessidade. O horror... um mundo em silêncio

(Ingeborg Bachmann)

Resumo

Na vida quotidiana de uma pessoa face à rotina e problemas de saúde ou até mesmo doenças crónicas, é muito fácil o aparecimento de lesões físicas. O progressivo crescimento de população idosa vem também contribuir positivamente neste sentido ou em necessidades especiais de terapia ocupacional. A recuperação da mobilidade é conseguida através da reabilitação que requer uma grande quantidade de recursos e de tempo. Os dispositivos comerciais não oferecem uma solução económica, tendo os doentes que recorrer a centros de reabilitação onde as metodologias usadas são muito tradicionais e baseadas em avaliação de carácter subjetivo.

Tendo sido documentada a utilização de sonificação em diferentes contextos de treino ou reabilitação, existindo diferentes estudos que comprovam que esta ferramenta de *feedback* sonoro potencia e motiva os utilizadores, concorrendo para uma maior eficácia dos processos.

O objetivo deste trabalho consiste na sonificação de dois dispositivos da área da reabilitação. Os sistemas *SHaRe* e *WESt*, no contexto da reabilitação, estão vocacionados para o treino ou avaliação de movimentos finos do pulso. Com a sonificação associada procura-se contribuir para aumentar a envolvência e motivação do utilizador para a realização dos tratamentos de reabilitação.

A presente dissertação visa uma recolha sistemática de sistemas inseridos no uso da sonificação em reabilitação, nas estratégias de integração de *feedback* sonoro, na procura do *software* adequado e no desenvolvimento e fundamentação da sonificação criada para cada aplicação.

Foi efetuada uma pré-validação à aceitação da sonificação integrada nos dispositivos de reabilitação já referidos, podendo-se considerar que foi bem recebida. Esta primeira pré-validação foi feita com a colaboração de uma especialista, uma terapeuta e estudantes da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto, da área da reabilitação da mão. Foi opinião geral, que a presença da componente sonora oferece um maior conforto à experiencia tornando-a mais interessante e eficaz. Deste modo é possível assumir que os sistemas sonificados desenvolvidos tem um potencial elevado para incorporação em exercícios de reabilitação.

Abstract

In the daily life of a person, some physical injuries can emerge from daily routines, health issues or chronic diseases. The aging of the population also contributes to these injuries or to the need of therapy. The recovery of the mobility is achieved through rehabilitation which requires a large amount of resources and a lot of time. The commercial rehabilitation devices don´t offer cheap solutions, forcing patients to look for rehabilitation centers where the methodologies used are old and based on subjective evaluations.

The use of sonification in rehabilitation and training activities has been documented, where several studies report the effectiveness of using sound feedback to motivate users, contributing to improve the efficiency of the therapy.

The goal of this work involves the design and development of sonification of two systems, the *SHaRe* and the *WESt*, which are designed to be used as rehabilitation and evaluation devices. These devices are focused on the wrist and hand movements. The sonification wants to increase the motivation and excitement in the user to perform the exercises.

The present dissertation presents a review on different rehabilitation systems that use sound as a feedback element to accomplish the exercise. It reports the development of the strategy used to implement the sonification of the two referred systems.

The implementation of the sonification in the proposed applications was done with success. It was tested with therapist and students from the "Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto" where it has been concluded that the developed sonification brings more motivation to perform the rehabilitation exercises. Thus it´s possible to conclude that the developed sonificated systems have a large potential to be used in rehabilitation activities.

Agradecimentos

Um agradecimento muito especial aos meus pais, Álvaro e Armanda Torres, pela paciência que sempre tiveram para comigo, pela educação que me deram ao longo de todos estes anos e pelo imenso esforço que realizaram para conseguir atingir os meus objetivos.

Um agradecimento muito especial ao meu irmão, Sérgio, pela paciência, pelo companheirismo e pelos conselhos dados ao longo da minha vida.

Um agradecimento especial à Prof. Maria Teresa Restivo e ao Prof. Paulo Augusto Ferreira de Abreu orientadores da dissertação, que acompanharam todo o processo, dando uma preciosa ajuda em todos os aspetos.

Um agradecimento aos colaboradores da FEUP/INEGI, em especial ao companheiro José Rodrigues por todo o apoio e ajuda prestada ao longo destes meses.

E por fim agradeço à instituição FEUP e INEGI e ao projeto SciTech [1], sem dúvida uma mais-valia para a minha carreira de Engenheiro.

(1) Projecto NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, Co-finaciada pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), atráves de Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)

Índice de Conteúdos

Índice de Figuras ix
Índice de Tabelas xi
1 Introdução 1
1.1 Objetivos 2
1.2 Enquadramento do projeto e motivação 2
1.3 Estrutura da dissertação 3
2 Sonificação de dispositivos para reabilitação 5
2.1 Introdução 5
2.2 *Genvirtual* 5
2.3 *SoundBeam* 6
2.4 *Music to Movement* 7
2.5 *Pablo* 8
2.6 *FitMi* 9
2.7 *MusicGlove* 10
2.8 Sistema de *Biofeedback* em tempo real para movimentos do braço 10
2.9 Conclusão 11
3 Estratégia de sonificação dos dispositivos 13
3.1 Introdução 13
3.2 Especificações e requisitos da sonificação 13
3.3 Abordagens de implementação 13
3.3.1 Sonificação não integrada na aplicação existente do dispositivo 13
3.3.2 Sonificação integrada na aplicação existente do dispositivo 15
3.4 Conclusão 16
4 Desenvolvimento do design sonoro para dispositivos de reabilitação 17
4.1 Introdução 17
4.2 Características musicais 17
4.3 Desenvolvimento do design sonoro 19
4.3.1 Sistema SHaRe 19
4.3.2 Sistema WESt 26
4.4 Conclusão 30
5 Pré-validação experimental 31
5.1 Introdução 31
5.2 Teste e demonstração dos dispositivos com sonificação 31
5.3 Conclusão 32
6 Conclusões e trabalhos futuros 33
6.1 Conclusões 33
6.2 Trabalhos futuros 34
Referências 35
ANEXO A: Programação em *Pure Data* 39
ANEXO B: Questionário de avaliação da aplicação *FOG* 43

Índice de figuras

Figura 1.1 - Dispositivo *SHaRe* 3
Figura 1.2 - Dispositivo *WESt* 3
Figura 2.1 - Componentes do *Genvirtual* 5
Figura 2.2 - Cartões que permitem o reconhecimento de notas musicais e instrumentos 6
Figura 2.3 - *Soundbeam* 6
Figura 2.4 - Utilização dos sensores ultrassónicos 7
Figura 2.5 - Sistema *M2M* 7
Figura 2.6 - Protótipo *M2M* à esquerda para preensão, à direita para toque 8
Figura 2.7 - Sistema *Pablo* e jogo 8
Figura 2.8 - Acessórios do sistema *Pablo* 9
Figura 2.9 - Conjunto *FitMi* 9
Figura 2.10 - *FitMi* com a aplicação 9
Figura 2.11 - *MusicGlove*: cada cor representa uma posição de contacto diferente 10
Figura 2.12 - Sistema de *Biofeedback* em tempo real 10
Figura 3.1 - *Processing-Pd* 14
Figura 3.2 - *Unity-Pd* 14
Figura 3.3 - Comunicação Série: à esquerda *Processing*, à direita *Pd* 14
Figura 3.4 - Comunicação "OSC": à esquerda *Unity*, à direita *Pd* 15
Figura 3.5 - *Processing + Minim* 15
Figura 3.6 - *Unity + Pd* 15
Figura 4.1 - Altura do som 18
Figura 4.2 - Duração do som 18
Figura 4.3 - Intensidade do som 18
Figura 4.4 - Timbre do som 18
Figura 4.5 - À esquerda o utilizador "agarra" o copo, à direita seleção da dificuldade 20
Figura 4.6 - Ambiente da aplicação – Primeiro objetivo 20
Figura 4.7 - Ambiente da aplicação - Segundo objetivo 21
Figura 4.8 - Menu de escolha 21
Figura 4.9 - Relação entre o *Grafcet* do *design* sonoro e da aplicação *FOG* 22
Figura 4.10 - Sistema de eixos do ambiente virtual 24
Figura 4.11 - Sons desenvolvidos para feedback sonoro do *FOG* 25
Figura 4.12 - Movimentos do pulso 26
Figura 4.13 - Posição da mão no dispositivo *WESt* 26
Figura 4.14 - Os dois eixos de rotação 27

Figura 4.15 - Aplicação do dispositivo *WESt* 27
Figura 4.16 - *Grafcet* - modo Avaliação 28
Figura 4.17 - Painel de definição dos parâmetros do exercício 29
Figura 4.18 - *Grafcet* - modo Exercício 30

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação de sistemas apresentados 11
Tabela 4.1 - Excertos musicais 23
Tabela 4.2 - Varáveis provenientes dos sensores do dispositivo *SHaRe* 24
Tabela 4.3 - Ordem dos movimentos técnicos realizados e respetivos sons 28
Tabela 4.4 - Movimentos técnicos e respetivos sons 29

Siglas

AVC – Acidente Vascular Cerebral
DeMec – Departamento de Engenharia Mecânica
ESS – Escola Superior De Saúde
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FOG – Following Mug
ICUF – Instituto CUF Porto
IDE – Integrated Development Environment
IMU – Inertial Measurement Unit
INEGI – Instituto de Ciência e Inovação e Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory
IPP – Instituto Politécnico do Porto
LIM – Laboratório de Instrumentação Médica
LDR – Light Dependent Resistor
MIDI – Musical Instrument Digital Interface
M2M – Music to Movement
OSC – Open Sound Control
Pd – Pure Data
PC – Personal Computer
SHaRe – System for Hand Rehabilitation
SNC – Sistema Nervoso Central
UBC – University of British Columbia
UISPA – Unidade de Integração de Sistemas e Processos Automáticos
USB – Universal Serial Bus
WESt – Wrist Evaluation System

1 Introdução

Este trabalho de dissertação vem dar continuidade a trabalhos de investigação aplicada, desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação para Medição (LIM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e no Grupo de Integração de Sistemas e Processos Automáticos (UISPA) do Laboratório Associado de Aeronáutica, Energia, e Transporte LAETA - INEGI (Instituto de Ciência e Inovação e Engenharia Mecânica e Gestão Industrial).

Entre vários trabalhos desenvolvidos no LIM alguns têm visado a avaliação e a reabilitação de membros superiores, nomeadamente, a funcionalidade fina da mão.

É bastante frequente a existência de incapacidade física a nível da mão devido a inúmeras doenças ou lesões que afetam o corpo humano desde acidentes vasculares (AVC), lesões do SNC (sistema nervoso central) e até acidentes decorrentes de atividades físicas ou laborais. O progressivo crescimento de população idosa vem também contribuir positivamente neste sentido ou em necessidades especiais de terapia ocupacional.

Todas estas condições limitam mais ou menos severamente o quotidiano de uma pessoa. Deste modo, a área da saúde procura evoluir para ajudar a reduzir a incapacidade de um paciente ou permitindo mesmo, a sua total recuperação. No entanto, na maioria dos casos, o processo de recuperação é moroso, e consequentemente pouco motivador e dispendioso, sendo só possível através de um treino minucioso, persistente e repetitivo. Estão neste caso os exercícios tradicionais de fisioterapia que são desagradáveis, exigem repetição programada e não dão qualquer informação objetiva sobre a lenta evolução durante o tratamento. Assim, estas fases de recuperação nunca são bem aceites pelos pacientes.

Tendo em conta as particularidades dos exercícios tradicionais de fisioterapia, é visível uma evolução no sentido de utilizar dispositivos ou processos que concorram para diminuir o tempo de reabilitação, que permitam disponibilizar informação sobre a evolução e resultados da terapia, que possibilitem a utilização no domicílio com auxílio da designada e-reabilitação [1] e que permitam o registo de dados para respetiva avaliação *online* ou em diferido pelos fisioterapeutas [2]. Outras funcionalidades como a utilização de *feedback* aumentado em ambiente de jogos na realização de exercícios pode potenciar o interesse e o envolvimento dos pacientes conduzindo à celeridade e eficiência do processo de reabilitação. Assim, a implementação de jogos que cativem os pacientes é uma evolução necessária e que se afigura muito importante [3].

Em paralelo com a utilização do *feedback* visual, encontra-se a utilização de *feedback* sonoro que se afigura como uma promissora ferramenta que poderá potenciar os exercícios de fisioterapia e de terapia ocupacional [4].

Note-se que a grande maioria das atividades quotidianas de um indivíduo têm a presença de música ou de um ambiente sonoro, quer seja voluntária ou involuntariamente. Acontece inúmeras vezes, nomeadamente em ambientes comerciais, a existência de música ambiente com

o intuito de estimular o consumo. O mesmo princípio funciona com a publicidade que recorre à música e à melodia para chamar a atenção dos consumidores. A música tem, assim, um papel importante no estado psicológico de uma pessoa em diferentes contextos, como por exemplo, na ocorrência de uma situação de suspense, de romance, trágica ou vitoriosa em filmes, em que a música intensifica o momento criado [5].

Para além de todo este efeito sobre a parte psicológica e sentimental de uma pessoa, a música consegue criar ainda condições de relaxamento, relembrar memórias de infância ou momentos marcantes vividos, relembrar amigos e consegue também influenciar o estado de humor [6]. A integração de melodias ou músicas em dispositivos de reabilitação, na perspetiva de melhorar o potencial do tratamento físico dos pacientes, se bem concebido, poderá ajudar a otimizar o resultado obtido [4].

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho visa a sonificação de alguns dispositivos instrumentados desenvolvidos no LIM para a área de reabilitação.

Pretende-se com este trabalho que os utilizadores dos dispositivos desenvolvidos para reabilitação obtenham um *feedback* sonoro, que no caso em estudo será adicionado ao *feedback* visual procurando, deste modo, contribuir para um maior envolvimento na realização do exercício, assim como um fator motivacional, incentivando o utilizador a executar a atividade. Pretende-se também que o uso de dispositivos com *feedback* sonoro auxilie o paciente a efetuar tarefas de terapia de modo independente, sem ajuda de fisioterapeutas ou auxiliares, tornando possível a realização de sessões terapêuticas em casa, sem a necessidade obrigatória de deslocação à clínica.

Em particular, os objetivos a desenvolver neste trabalho são os seguintes:

- Identificação de técnicas e metodologias para sonificação;
- Desenvolvimento e implementação da integração da sonificação em dispositivos existentes;
- Realização de um conjunto de testes funcionais e de validação dos sistemas.

Para que os esforços desenvolvidos neste trabalho possam ser considerados úteis, é essencial um contacto com profissionais da área da reabilitação, em simultâneo com profissionais da área do som.

1.2 Enquadramento do projeto e motivação

Este trabalho insere-se na área dos dispositivos instrumentados para reabilitação motora dos membros superiores, nomeadamente do dispositivo *SHaRe* e do dispositivo *WESt*.

SHaRe [7] [8] é um sistema desenvolvido para a reabilitação que permite treinar os movimentos finos da mão assim como a força de preensão. O sistema é constituído por um dispositivo físico instrumentado, materializado sob a forma de um copo (figura 1.1) e por várias aplicações desenvolvidas para *PC*.



Figura 1.1 - Dispositivo *SHaRe*

WESt [9] é um sistema desenvolvido para avaliação das amplitudes do movimento do pulso, podendo também ser utilizado na realização de exercícios de reabilitação de movimentos técnicos do punho. O sistema é constituído por um dispositivo instrumentado (figura 1.2) e por aplicações desenvolvidas para *PC* e *Android* que complementam o seu funcionamento.

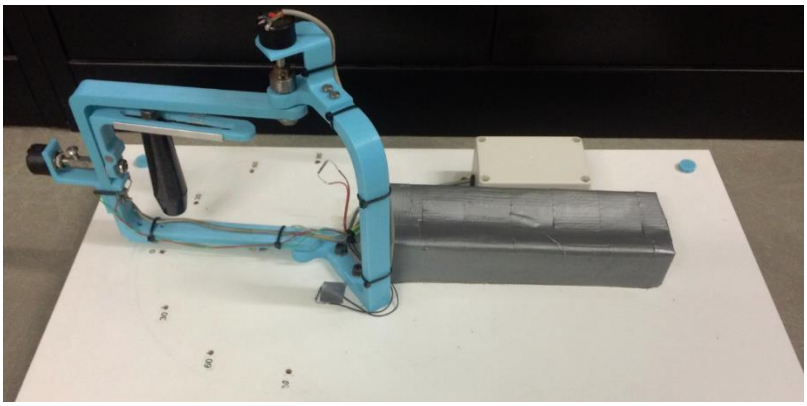


Figura 1.2 - Dispositivo *WESt*

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por seis capítulos, sendo o presente capítulo o de introdução visando a contextualização e apresentação do tema.

O segundo capítulo, "Sonificação de dispositivos para reabilitação" resume uma pesquisa bibliográfica de soluções para a utilização de *feedback* sonoro em dispositivos terapêuticos, enunciado as características e funcionamento de cada um.

O terceiro capítulo, "Estratégia de sonificação dos dispositivos" enuncia as especificações e requisitos do sistema, assim como a definição dos métodos a utilizar tais como as comunicações necessárias e a utilização do *software* apropriado.

O quarto capítulo, "Desenvolvimento do *design* sonoro para dispositivos de reabilitação" descreve a solução utilizada para a criação do *feedback* sonoro pretendido e posterior implementação da aplicação.

No quinto capítulo, "Pré-validação experimental" apresentam-se os testes realizados e os seus resultados.

No sexto capítulo, "Conclusões e trabalhos futuros" resumem-se as várias conclusões assim como propostas de desenvolvimento futuro.

2 Sonificação de dispositivos para reabilitação

2.1 Introdução

A utilização de sistemas sonificados em reabilitação é ainda bastante reduzida. No entanto encontram-se diversos exemplos de dispositivos sonificados estando alguns disponíveis comercialmente.

2.2 Genvirtual

O sistema *Genvirtual* foi desenvolvido num projeto de tese [10] no Instituto Superior de São Paulo que visa conceber um sistema interativo capaz de complementar as estratégias das intervenções músico-terapêuticas. Trata-se de um sistema de realidade aumentada musical denominado de *Genvirtual* (Figura 2.1) destinado para atividades de reabilitação de pessoas com défice de coordenação motora.

O sistema utiliza uma *webcam*, um computador e cartões codificados. Cada um destes cartões (Figura 2.2) representa uma nota musical da escala Dó maior que são reconhecidos pela *webcam* do computador, sendo criado um ambiente virtual, visível no monitor, constituído por blocos de diferentes cores. A aplicação desenvolvida faz o reconhecimento dos padrões das notas musicais e associa a cada nota uma cor. Quando o utilizador coloca a mão em cima do cartão é reproduzido um *feedback* sonoro com a respetiva nota musical. O sistema possuí também cartões que podem definir o instrumento que o utilizador pretende tocar.

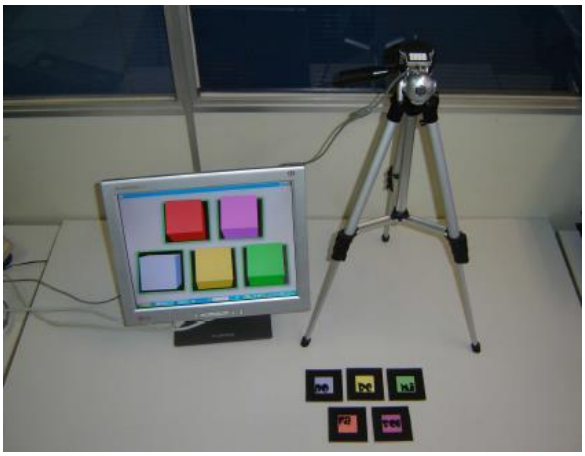


Figura 2.1 - Componentes do *Genvirtual*

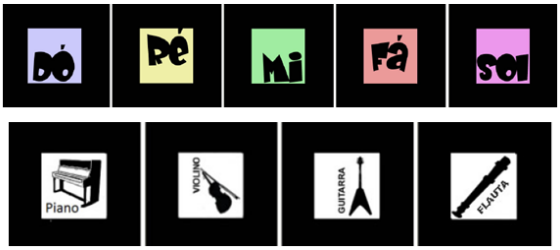


Figura 2.2 - Cartões que permitem o reconhecimento de notas musicais e instrumentos

2.3 SoundBeam

O sistema *SoundBeam* [11] (Figura 2.3) foi desenvolvido nos anos 80 por Edward Williams e tem como ancestral o famoso instrumento *Theremin* inventado pelo inventor russo Leon Theremin [12]. O *SoundBeam* foi inicialmente desenvolvido para permitir transformar movimentos corporais em música, mas rapidamente foi utilizado por músicos como sintetizador para composições musicais e por terapeutas, para acompanhar e motivar a realização de sessões de terapia.

O dispositivo é formado por um conjunto de sensores ultrassónicos, um módulo de sintetização de sons *MIDI* (*Musical Instrument Digital Interface*) [13] e uma interface de ligação do computador com o módulo de som *MIDI*.

O conjunto pode conter até quatro sensores ultrassónicos. Cada sensor permite medir a distância a que o feixe é interrompido (Figura 2.4). Esta interrupção pode ser feita, por exemplo, com a mão do utilizador, sendo os valores provenientes da medida da distância convertidos digitalmente e transmitidos para o módulo de som ou sintetizador *MIDI* que gera a modulação de sons.

Toda a construção sonora pode ser programada com a possibilidade de selecionar o som de um piano, de uma guitarra, de uma flauta e de outros instrumentos, assim como a dinâmica de som pretendida. A distância da mão ao feixe pode alterar a frequência ou o volume do som gerado. Para complementar o som reproduzido por meio dos dados provenientes dos feixes existem umas caixas eletrónicas sensíveis ao toque que permitem reproduzir ritmos ou trocar sons, dando assim a possibilidade de compor uma música completa.



Figura 2.3 - *Soundbeam*

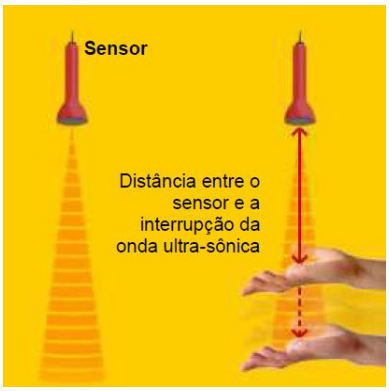


Figura 2.4 - Utilização dos sensores ultrassónicos

2.4 Music to Movement

O Sistema *Music to Movement* (*M2M*) [14] (Figura 2.5), é um projeto da *UBC* (*University of British Columbia*, Canadá) em que coopera uma equipa de estudantes de engenharia biomédica.

Trata-se de um dispositivo eletrónico interativo para reabilitação que disponibiliza *feedback* sonoro, visual e físico. É constituído por três componentes sensoriais, em que cada um deles é dedicado a um exercício terapêutico específico. *M2M* permite realizar exercícios como "apertar", "tocar" e "rodar", que foram identificados como os principais exercícios para recuperação dos movimentos, da capacidade de preensão e da força efetuada pelo braço, punho e mão em reabilitação física.

Os três dispositivos comunicam por ligação *Bluetooth* com um controlador central que possui colunas de som permitindo o seu funcionamento em modo *standalone*. O sistema permite reproduzir música, ligar sinalizadores luminosos presentes em cada um dos dispositivos, para além de vibrar sempre que o utilizador interage com os objetos de modo a motivar e obrigar o paciente a estar concentrado. Este sistema foi desenvolvido por uma equipa multidisciplinar, incluindo musicoterapeutas e fisioterapeutas.

O componente de "Aperto" (Figura 2.6A) permite trabalhar a força de preensão simulando o "agarrar" de objetos. Para isso o dispositivo tem a forma de um objeto cilíndrico que incluí quatro sensores de força.

O componente de "Toque" (Figura 2.6B) foca-se na precisão de toque da mão no aparelho e na força de toque. Para este efeito é utilizado um sensor piezoelétrico que deteta o toque do utilizador e mede a força exercida.

O componente de "Torsão" permite exercitar o movimento de torção do punho/mão que o utilizador consegue fazer. É utilizado um sensor de fluxo magnético que deteta a variação dos campos magnéticos dos diferentes imanes presentes no corpo cilíndrico, quando sujeitos a um movimento de torsão.

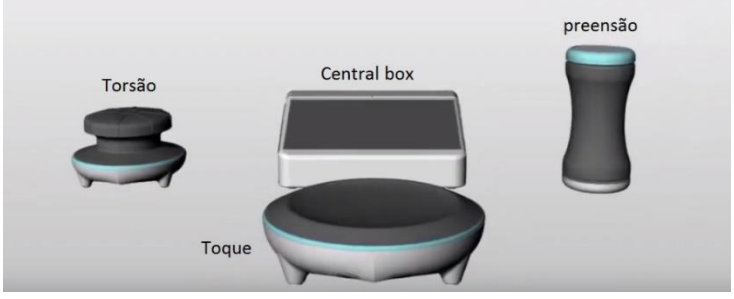


Figura 2.5 - Sistema *M2M*

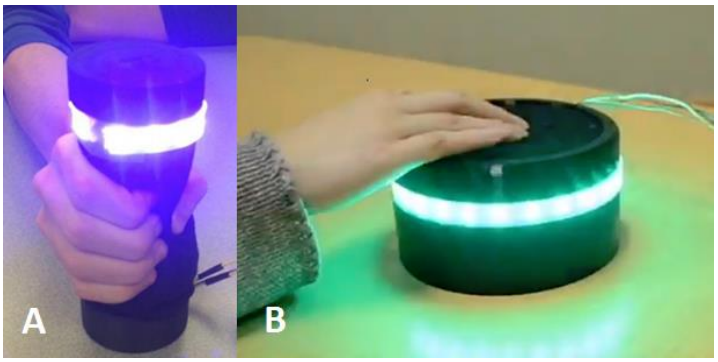


Figura 2.6 - Protótipo *M2M* à esquerda para preensão, à direita para toque

2.5 Pablo

O sistema *Pablo* [15] (Figura 2.7) é um dispositivo comercializado pela empresa *Tyromotion* focado para a reabilitação do antebraço, da mão e do pulso [16]. O dispositivo é semelhante a um *joystick* e incorpora sensores que podem medir a força de preensão da mão. O dispositivo *Pablo* comunica com um *PC* via ligação cablada *USB*. O sistema *Pablo* dispõe de um conjunto de jogos para PC, sendo utilizado como interface de comando na execução dos jogos. Deste modo os pacientes são motivados a realizar os exercícios de reabilitação e coordenação motora. Para além desta funcionalidade, o sistema Pablo permite dispor do histórico de exercícios realizados pelo paciente podendo assim quantificar o seu progresso.

O dispositivo *Pablo* tem também a possibilidade de incorporar vários acessórios (Figura 2.8) permitindo assim realizar uma maior variedade de exercícios de fisioterapia, abrindo mesmo a possibilidade de fazer exercícios que não são apenas focados na fisioterapia da mão, como por exemplo, exercícios físicos de treino para atletas.



Figura 2.7 - Sistema *Pablo* e jogo



Figura 2.8 - Acessórios do sistema *Pablo*

2.6 FitMi

O Sistema *FitMi* [17] é constituído por um conjunto de dispositivos (Figura 2.9) comercializados pela empresa *FlintRehab* vocacionados para a reabilitação física. O sistema é versátil, permitindo a realização de exercícios para exercitar a mão, braços, pernas e tronco.

O conjunto é constituído por dois objetos cilíndricos em que cada um possuí um sensor de toque e um *IMU*, e por uma base/carregador que permite recarregar as baterias dos dois dispositivos, comunicando com o PC ou com o *tablet* por uma ligação sem fios. A própria empresa desenvolveu um *software* que permite ao utilizador a criação de um perfil pessoal, assim como escolher diferentes tipos de exercícios e diferentes tipos de jogos (Figura 2.10), fornecendo assim uma grande variedade de atividades para diversos gostos. Para além do *feedback* visual, oferece também *feedback* musical podendo até mesmo escolher a música que o utilizador deseja dentro das opções disponíveis e oferece também *feedback* físico através da vibração dos cilindros quando estes sofrem interação com o paciente. O perfil pessoal criado para cada paciente permite também a análise do histórico de utilização e de evolução sendo classificada em distintos níveis de progresso.



Figura 2.9 - Conjunto *FitMi*



Figura 2.10 - *FitMi* com a aplicação

2.7 MusicGlove

O sistema *MusicGlove* [18] é um dispositivo (Figura 2.11) comercializado pela *FlintRehab*, que tem como principal objetivo a terapia da mão e, em particular, no movimento de pinça que obriga ao toque entre dedos [19]. O dispositivo é constituído por uma luva que possuí sensores nas pontas dos dedos. Estes sensores permitem o reconhecimento da oposição de cada dedo em relação ao polegar. O sistema possuí *feedback* visual assim como *feedback* musical, sob a forma de um jogo idêntico ao famoso jogo *GuitarHero*, onde o utilizador é obrigado a realizar diferentes posições dos dedos de modo a conseguir "tocar" a música. As pontuações obtidas durante os jogos são guardadas de modo a ser possível observar a eventual existência de evolução desta capacidade a nível da reabilitação da mão.



Figura 2.11 - *MusicGlove*: cada cor representa uma posição de contacto diferente

2.8 Sistema de *Biofeedback* em tempo real para movimentos do braço

Este sistema desenvolvido por Sophie Kirkham, utiliza *feedback* sonoro em tempo real [20], na realização de exercícios de movimento do braço até um ponto fixo (Figura 2.12).

O sistema tem por objetivo criar um *feedback* sonoro 3D que permita ao paciente ter a noção da posição do seu braço através do som estéreo que ouve. Por exemplo, quando o braço se movimenta para a direita o som é desequilibrado tornando-se mais intenso no ouvido direito e vice-versa. Para alcançar o objetivo o paciente terá de manter o equilibro estéreo do som.

A posição do braço é lida com um conjunto de sensores que se encontram acoplados ao braço do utilizador, permitindo deste modo enviar dados da posição do braço em tempo real para um computador, onde posteriormente é feito um mapeamento da posição relativa reproduzindo um som 3D, que varia consoante a trajetória percorrida.



Figura 2.12 - Sistema de *Biofeedback* em tempo real

2.9 Conclusão

Como foi visto, existem vários dispositivos para a reabilitação do pulso/mão, que integram *feedback* visual e sonoro, de modo a obter um melhor resultado na realização de atividades terapêuticas. No entanto, verifica-se que a integração sonora encontra-se menos trabalhada em relação à componente visual. Verifica-se que os dispositivos que contam com ambas as componentes e que se encontram comercialmente disponíveis apresentam elevado custo e existem em número limitado.

Na tabela 2.1 estão representados os tipos de *feedback* disponível, a possível adaptação para a realização de exercícios que envolvam outros membros para além da mão, o registo da evolução do paciente, a usabilidade do dispositivo e o custo estimado de cada um.

Tabela 2.1 - Comparação de sistemas apresentados

	Feedback Sonoro	***Feedback Visual***	***Exercícios para outros membros***	***Registo da evolução do paciente***	***Usabilidade***	***Comercialização/ Custo***
Genvirtual	Sim	Sim	Não	Não	-Fácil e prático -Muito limitado e suscetível a falhas	Académico em desenvolvimento
Soundbeam	Sim	Não	Adaptável	Não	-Complexo -Muita variedade	Comercial 1000 € - 2000€
M2M	Sim	Sim	Não	Não	-Fácil e prático -Versátil	Académico em desenvolvimento
Pablo	Sim	Sim	Sim	Sim	-Fácil - Convém presença fisioterapeuta	Comercial + de 500 €
FitMi	Sim	Sim	Sim	Sim	-Fácil e prático -Software difícil	Comercial 260 €
MusicGlove	Sim	Sim	Não	Sim	-Fácil e prático - Limitado	Comercial 300€
Bio*feedback* de movimentos do braço	Sim	Não	Não	Não	- Fácil - Limitado	Académico em desenvolvimento
SHaRe	Muito limitado (desenvolvimento em curso)	Sim	Não	Sim	-Fácil e intuitivo	Académico em desenvolvimento
WESt	Muito limitado (desenvolvimento em curso)	Sim	Não	Sim	-Fácil -Limitado a exercício /avaliação de pulso	Académico em desenvolvimento

O presente trabalho foca a integração do *feedback* sonoro dos dispositivos *SHaRe* e *WESt*, tornando-os assim produtos competitivos face ao mercado existente, tendo como vantagem a facilidade de utilização, e uma estimativa de valor inferior aos concorrentes já comercializados, tendo também sido obtida uma pré-validação em ambiente clínico. Para além desta pré-validação, estes dois sistemas foram escolhidos também por ser possível com eles ter a necessidade de trabalhar a sonificação em dois *softwares* distintos (*Unity* - Motor de jogos e *Processing* - IDE, *Integrated Development Enviorenment*).

3 Estratégia de sonificação dos dispositivos

3.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento da estratégia para a integração de *feedback* sonoro em dispositivos para reabilitação, sendo necessários vários fatores a ter em conta: o método de integração sonora possível, o *software* a utilizar e as comunicações necessárias.

Também é necessário salientar que se trata de dispositivos que possuem *feedback* visual através do uso de aplicações desenvolvidas, sendo fundamental partir destas funcionalidades, para conseguir construir os objetivos pretendidos. Vê-se portanto nesta fase a obrigação de analisar o trabalho já existente e projetar métodos que possibilitem a adição de *feedback* sonoro.

3.2 Especificações e requisitos da sonificação

Para o planeamento da sonificação dos dispositivos foram considerados os seguintes principais aspetos:

- Seleção do *software* adequado ao desenvolvimento do *design* sonoro;
- Capacidade de assegurar a comunicação de dados entre as aplicações existentes para cada dispositivo e o *software* de *design* sonoro escolhido;
- Desenvolvimento de *design* sonoro adequado para incorporação em aplicação de exercícios de reabilitação existentes, com capacidade de envolver e motivar o utilizador;
- Estrutura sonora que permita variações dos estilos musicais ou sons, proporcionando diferentes interações com o utilizador;

3.3 Abordagens de implementação

De modo a cumprir os requisitos e os aspetos considerados anteriormente e após uma pesquisa foi decidido considerar duas abordagens distintos para a integração da sonificação nos dispositivos em questão.

3.3.1 Sonificação não integrada na aplicação existente do dispositivo

A sonificação é implementada numa aplicação independente da aplicação existente, sendo a sua interação conseguida através de uma comunicação em tempo real entre as duas aplicações.

A componente sonora é desenvolvida em *software Pure Data* [21], sendo as aplicações já previamente desenvolvidas, em *software Processing* (Figura 3.1) ou em *software Unity* (Figura 3.2).

*Pure Data (*ou abreviadamente *Pd)* é uma linguagem de programação visual desenvolvida por Miller Puckette na década de 1990 para criação de música e desenvolvimento de

trabalhos multimédia. O *Pd* é uma linguagem *open source*, com uma equipa a trabalhar em novas extensões e outras formas de *add-ons*, que permite a sua utilização em múltiplos sistemas operativos. Corre em sistemas *GNU/Linux, Mac OS X, iOS, Android e Windows*, sendo publicado sobre uma licença *BSD*.

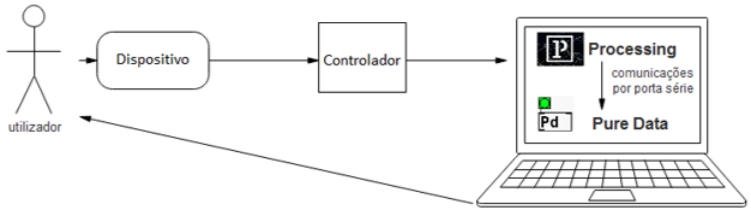


Figura 3.1 - *Processing-Pd*

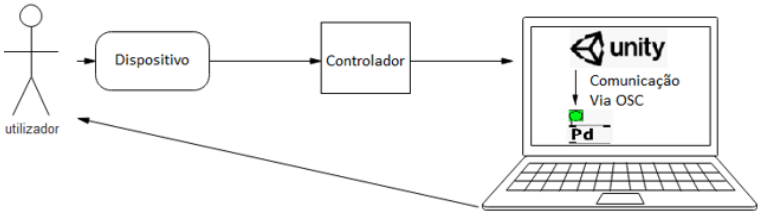


Figura 3.2 - *Unity-Pd*

A comunicação série adotada na implementação *Processing-Pure Data* (Figura 3.3) torna possível a leitura e transmissão de dados provenientes dos sensores do dispositivo, e das etapas de execução da aplicação, onde posteriormente são mapeados para controlo ou modulação de sons.

```
if (Serial.list().length==0) {
   error =true;
 } else {
   String portName = Serial.list()[1];
   myPort = new Serial(this, portName, 9600);
   myPort.bufferUntil('\n');
```

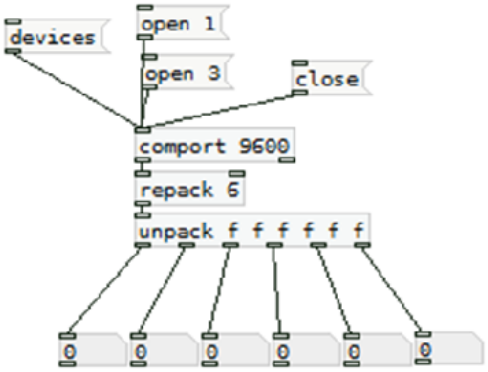


Figura 3.3 - Comunicação Série: à esquerda *Processing*, à direita *Pd*

Na implementação *Unity-PureData* (Figura 3.4) as comunicações foram efetuadas por *Open Sound Control*, *OSC* [22] . Trata-se de um protocolo específico para a rede entre computadores e dispositivos de som (sintetizadores, controladores e instrumentos musicais eletrónicos). Este protocolo permite controlo de um som em tempo real com fácil implementação e elevada precisão e flexibilidade. A comunicação é feita por uma porta série e definida pelo endereço IP do dispositivo que se pretende controlar.

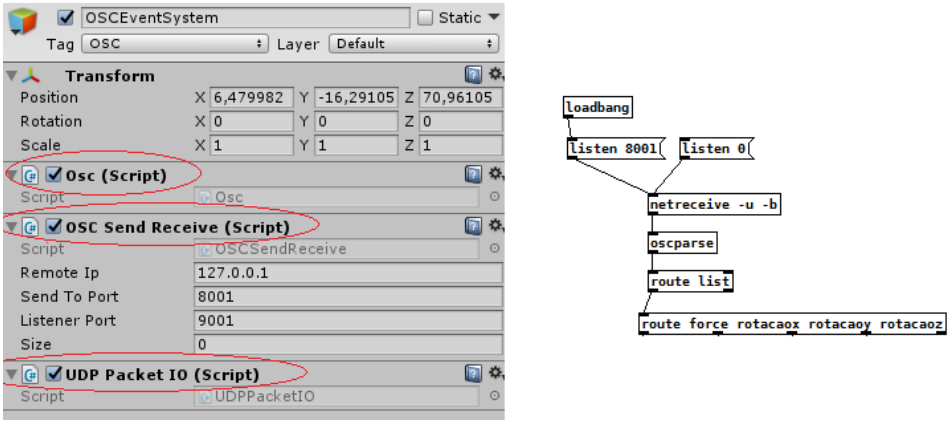


Figura 3.4 - Comunicação "OSC": à esquerda *Unity*, à direita *Pd*

Ambos os procedimentos anteriormente descritos apenas partilham dados dentro do mesmo computador sendo que o endereço de IP a utilizado é o *localhost*, "127.0.01".

3.3.2 Sonificação integrada na aplicação existente do dispositivo

Este método visa a criação de uma única aplicação *Standalone*, sendo para esse efeito desenvolvida uma abordagem que permite a integração da componente sonora incorporada na aplicação já existente dos dispositivos. Deste modo evita-se a necessidade de comunicações em tempo real e do funcionamento independente dos *softwares*, sendo no entanto necessário implementar uma maior alteração no código das aplicações já existentes.

Para implementar este método é necessária a utilização de bibliotecas que permitem a integração de áudio nos programas já desenvolvidos.

No caso da aplicação já desenvolvida em *Processing* (Figura 3.5) toda a componente sonora foi criada no próprio *software Processing* com auxílio da biblioteca de áudio *Minim* [23]. Esta biblioteca de áudio permite a integração de áudio nos seus *sketch´s* de forma simples, enquanto ainda fornece uma boa flexibilidade para utilizadores avançados.

No caso da aplicação desenvolvido em *Unity* (Figura 3.6), a componente sonora foi concebida no *PureData* e integrada no *sofwtare Unity* com auxílio da biblioteca *LibPd4Unity* disponibilizada na plataforma online "GitHub" disponível em [24].

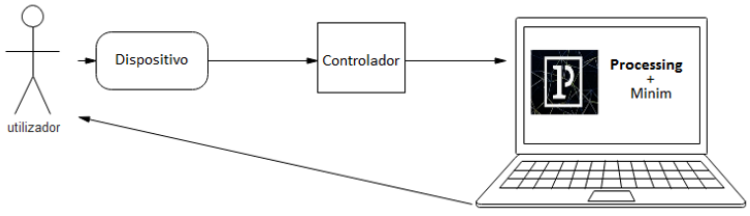


Figura 3.5 - *Processing + Minim*

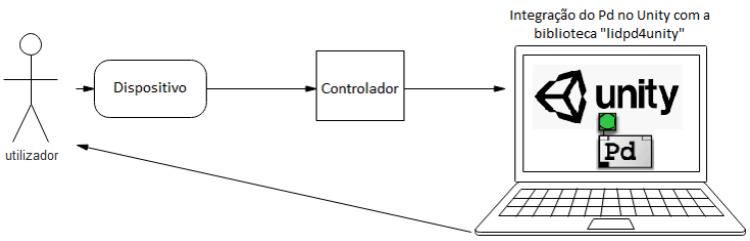


Figura 3.6 - *Unity + Pd*

3.4 Conclusão

Neste capítulo foram referidas as arquiteturas e procedimentos necessários para a sonificação das aplicações de utilização dos dispositivos já existentes.

Foram usadas duas abordagens tendo-se considerado que, para o desenvolvimento do presente trabalho e face às funcionalidades pretendidas, a sonificação integrada na aplicação é a melhor estratégia a adotar, apesar de requerer um maior trabalho de integração sobre a aplicação já existente. O seguinte capítulo apresenta o desenvolvimento de todo o processo de sonificação com a utilização da referida abordagem.

4 Desenvolvimento do design sonoro para dispositivos de reabilitação

4.1 Introdução

No desenvolvimento da estrutura sonora para os dispositivos *SHaRe* e *WESt* usados em reabilitação é necessário ter em conta vários fatores. Por um lado é necessário salientar que os utilizadores destes dispositivos são pacientes, geralmente em situações fragilizadas e delicadas, que facilmente podem atingir estados de frustração ou irritação. Por outro lado, esta fragilidade emocional de pacientes que se encontram em reabilitação, cria a necessidade de motivação para que não desistam da atividade em questão e consigam obter o resultado pretendido, uma vez que a reabilitação por fisioterapia é sempre um processo moroso.

Procurar um conjunto de sons ou músicas que acompanhe e incentive a atividade terapêutica não é uma tarefa fácil, pois cada pessoa pode ter um sentimento diferente para um mesmo som ou música. Idealmente, estas situações são resolvidas pelos musicoterapeutas, profissionais da área que trabalham individualmente esses sentimentos provenientes de músicas ou sons, de modo a controlar todo o processo e fazendo com que as pessoas realizem o tratamento com sucesso.

No entanto, um dos pontos fulcrais deste trabalho é desenvolver uma maior envolvência à volta do exercício de fisioterapia, através da inclusão de *feedback* sonoro, criando condições para que a atividade possa ocorrer por iniciativa do paciente, de forma independente e sem ajuda ou supervisão de profissionais. Deste modo foi necessária uma solução que funcione como premissa geral, que possa ser do agrado de um grande número de utilizadores, que seja versátil e que não perturbe o processo do exercício de reabilitação.

Neste capítulo procura-se precisamente obter as condições que funcionem como premissas gerais e construir a estrutura sonora necessária para a envolvência da pessoa no exercício disponível nas aplicações de cada dispositivo. Inicialmente é efetuada uma breve introdução às características musicais e de seguida é apresentado o desenvolvimento do *feedback* sonoro integrado nas aplicações.

4.2 Características musicais

Quando se escuta uma música, existe a perceção das vibrações sonoras nela contida, sendo uma pessoa afetada organicamente por essas vibrações, ou seja, pela dimensão afetiva e exteriorizada através da dimensão motora [25].

- Propriedades do som [26]:
    - **Altura** - Diferente entoação das notas (grave, médio ou agudo) relaciona-se com a frequência da onda (Figura 4.1). Maior altura ⇔ Maior frequência

      Ex: notas repetidas de um piano diferenciam-se pela altura.

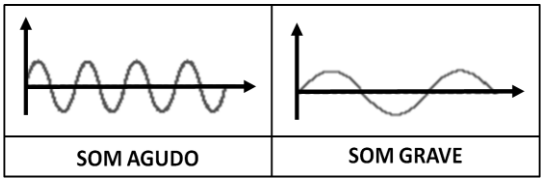


Figura 4.1 - Altura do som

- **Duração** - Intervalo de tempo em que soa o som (Figura 4.2)

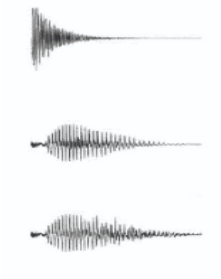


Figura 4.2 - Duração do som

- **Intensidade** - Propriedade do som (fraco ou forte), relaciona-se com a amplitude (Figura 4.3). Maior intensidade ⇔ Maior amplitude.

  Ex: Volume

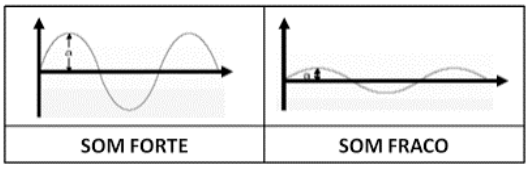


Figura 4.3 - Intensidade do som

- **Timbre** - É a qualidade pela qual um som se diferencia de outro da mesma altura, mas provenientes de fontes sonoras diferentes

  Ex: A mesma nota musical tocada num piano e num violino tem timbres diferentes (Figura 4.4).

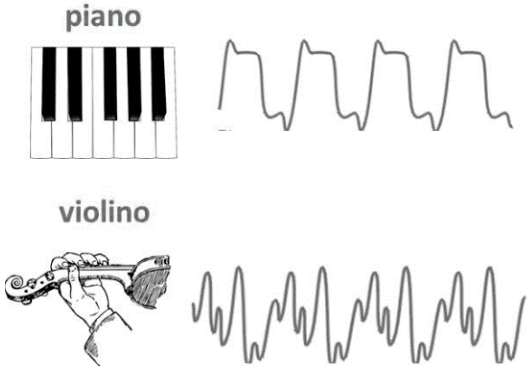


Figura 4.4 - Timbre do som

- Elementos da música:
  - **Melodia** - Sucessão de sons sequenciais repetindo ou variando tempo, altura ou intensidade

- **Harmonia** - Sequência de sons combinados simultaneamente formando acordes.
- **Ritmo** - Divisão ordenada do tempo, pulsação, batida.

As diferentes reações à música são sensações que podem ser descritas, às vezes, como uma sensação de "frio" ou "coração acelerado" e que se revelam por um gesto, uma lágrima, um sorriso ou um movimento. A esta sensação inicial chamamos emoção.

Porém, o contexto cultural e a história individual demonstram exercer influência predominante sobre a avaliação dos estímulos que provocam emoções e dos momentos em que se pode ou deve expressar essas emoções.

4.3 Desenvolvimento do design sonoro

No desenvolvimento do trabalho apresentado foram consideradas duas opções distintas para a criação do *feedback* sonoro, uma com a criação de sons através de síntese sonora utilizando o *Pure Data*, outro com a reprodução de excertos de músicas conhecidos. Contudo, do contacto com profissionais da área musical e da área de fisioterapia, concluiu-se que de modo a obter um *feedback* sonoro que agrade a um maior número de pacientes, seria vantajoso disponibilizar um leque de escolhas de excertos musicais ao utilizador. Assim, verificou-se que esta opção seria a mais eficaz, pois a criação de sons através da síntese sonora encontra-se muito associada à música eletrónica, podendo esta conduzir a alguma rejeição por parte dos utilizadores típicos de dispositivos instrumentados para reabilitação.

De seguida foi realizada uma pesquisa de um conjunto de músicas e de sons, com a finalidade de motivar e envolver o utilizador durante a realização do exercício de reabilitação. No entanto, a motivação não é o único aspeto a ter em conta. Também se teve em conta o facto de a sonificação escolhida não ser perturbadora ou causar a sensação de frustração. O público-alvo deste produto são sempre pessoas fragilizadas. Deste modo pretende-se que o utilizador não desista durante atividade, e que consiga alcançar o resultado pretendido sem atingir estados de impaciência ou de frustração.

4.3.1 Sistema SHaRe

O sistema *SHaRe* [7] [8] é um dispositivo desenvolvido para a área da reabilitação, nomeadamente para o treino da motricidade fina da mão/pulso, sendo constituído por um dispositivo físico instrumentado, presentemente materializado sob a forma de um copo, e aplicações desenvolvidas em computador que constituem diferentes jogos interativos.

O dispositivo permite monitorizar a força de preensão através de uma célula de carga, permite também identificar a orientação do copo com auxílio de um *IMU* e possibilita ainda a capacidade de saber se o copo está pousado ou não numa superfície através de um sensor *LDR*. A comunicação dos dados recolhidos entre o dispositivo e o computador onde corre a aplicação, é feita por ligação sem fios, *MiWi*.

O dispositivo é controlado por um microcontrolador da *Microchip* responsável pela aquisição de informação, provenientes dos elementos sensoriais e pela comunicação sem fios.

O sistema *SHaRe*, disponibiliza atualmente um conjunto de aplicações já desenvolvidos. No entanto para o desenvolvimento da sonificação foi escolhida apenas uma, a aplicação *FOG*.

A aplicação *FOG*, acrónimo para *Following Mug* foi desenvolvida no motor de jogos *Unity*, utilizando linguagem de código C#. Baseia-se no conceito "Jogo sério" e permite a realização de exercícios que promovem o movimento da mão/pulso.

O funcionamento da aplicação *FOG* é descrito de seguida.

Funcionamento:

- Depois de inicializado o sistema e ser escolhido o modo de jogo, o utilizador deverá suportar o copo físico (*SHaRe*) com a mão. (Figura 4.5).



Figura 4.5 - À esquerda o utilizador "agarra" o copo, à direita seleção da dificuldade

- A aplicação *FOG* tem como primeiro objetivo, obrigar o paciente a procurar posicionar o copo virtual "azul" da aplicação (o de menor tamanho, que se encontra na figura 4.6 ao centro) que recebe informação do sistema físico, no interior do copo "vermelho" (de maior tamanho, que se encontra à esquerda na figura 4.6).

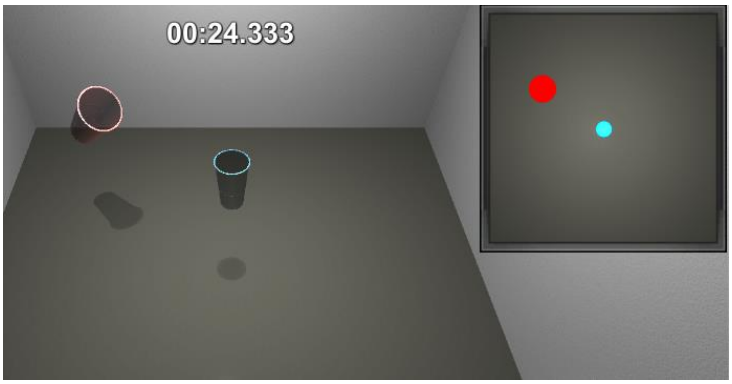


Figura 4.6 - Ambiente da aplicação – Primeiro objetivo

Quando é selecionado o modo fácil o copo "azul" é controlado através da inclinação do copo físico do utilizador (*SHaRe*), que vai definir a orientação e a velocidade.

Quando é selecionado o modo difícil o copo "azul" é controlado com a inclinação e com força de preensão efetuada pelo utilizador no copo *SHaRe*, em que a inclinação dada ao *SHaRe* define a orientação do copo "azul" e a força de preensão a velocidade.

- Após a colocação do copo "azul" no interior do copo "vermelho", este muda a sua cor para verde sendo o segundo objectivo a manutenção desta situação durante cinco segundos (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Ambiente da aplicação - Segundo objetivo

- Após se ter concluído o segundo objetivo, o jogo faz um *reset* gerando uma nova posição, aleatoriamente, para o copo "vermelho", repetindo-se assim o ciclo.

Estrutura sonora

Foi estabelecida uma estrutura global para inserção de excertos de músicas ou geração de sons, à aplicação *FOG*, procurando-se deste modo disponibilizar a presença do *feedback* sonoro para determinadas ações, procurando aumentar a envolvência do utilizador, influenciando-o de forma positiva.

Toda a estrutura do *design* sonoro foi desenvolvida com o *software Pd*. A integração do *Pd* na aplicação *Unity* foi realizada com auxílio da biblioteca *Libpd4unity*.

Com o objetivo de vir a ter um maior envolvimento no público-alvo considerou-se a presença de músicas conhecidas, como som de fundo da aplicação, sendo toda a metodologia apresentada de seguida em "Sonificação com excertos musicais". Caso o utilizador não pretenda a presença musical, poderá optar pela opção de sons interativos apresentado em "Sonificação com geração de sons interativos", podendo ser utilizada a função *mute* se o utilizador não pretender nenhuma das opções anteriores.

Para permitir a seleção da opção desejada foi criado um menu bilingue (Figura 4.8) que permite ao utilizador escolher a opção que mais lhe agrada.

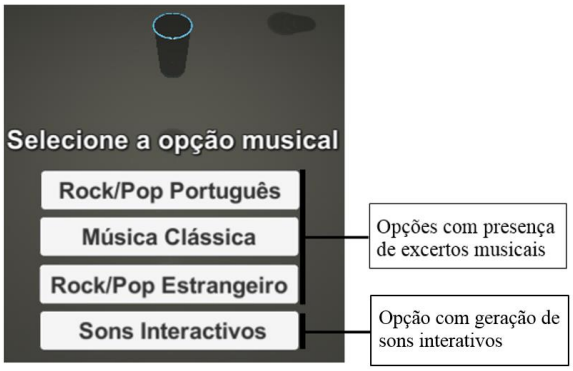


Figura 4.8 - Menu de escolha

Foi criada uma divisão na parte estrutural do *design* sonoro, obtendo-se assim 3 etapas principais (Figura 4.9) que simbolizam as diferentes etapas que constituem o jogo, sendo necessária uma clara distinção nas músicas / sons de modo a criar uma relação com a ação decorrida em cada uma das partes.

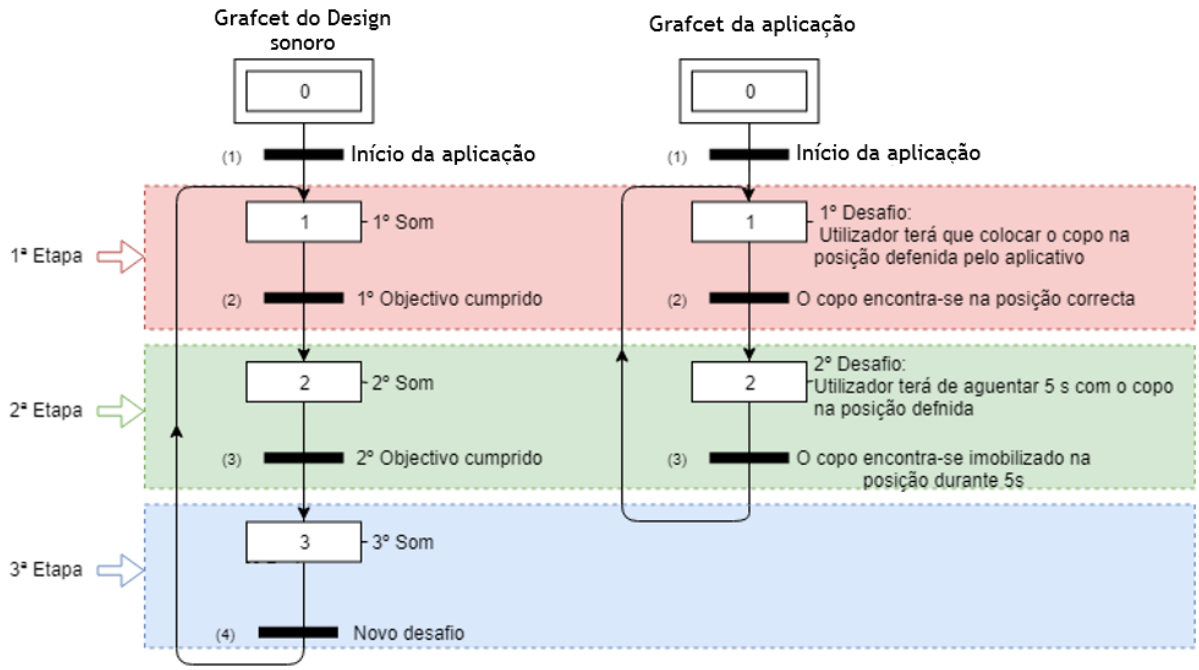


Figura 4.9 - Relação entre o *Grafcet* do *design* sonoro e da aplicação *FOG*

Sonificação com excertos musicais

1ª Etapa

Na primeira etapa, para motivar o utilizador durante a realização do 1º objetivo propõe-se a escolha de quatro excertos de músicas para cada estilo musical considerado. Sempre que o utilizador passa pela primeira etapa do jogo, há uma alteração de música dentro do mesmo estilo escolhido previamente, procurando evitar assim a saturação do utilizador.

Para a escolha dos excertos procurou-se apoio nas características musicais associadas a estados de felicidade sendo essencial selecionar:

- Músicas com ritmo alegre, vivo e marcante;
- Melodias simples, claras;
- Melodias com pouca alteração nas intensidades;
- Músicas com mais influência na sociedade em que as pessoas tendencialmente e, na generalidade, relatam uma sensação de agrado quando as escutam.

Cumprindo estes requisitos foram selecionados os seguintes excertos musicais como possíveis indutores de estados de felicidade e apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Excertos musicais

Música clássica	*Música Rock/Pop*	*Música Portuguesa*
Edvard Grieg - Morning mood	Bobby McFerrin - Don't Worry Be Happy	Taxi - Chiclet
John Pachelbel - Canon	Louis Armstrong - What a wonderful world	Rio Grande - Postal dos Correios
Gabriel Fauré - Sicilienne	Beatles - All Together Now	Jorge Palma - Frágil
Beethoven - Fur Elise	Lou Bega - Mambo No. 5	Doce - Quente,quente,quente

2ª Etapa

Na segunda etapa, de forma a influenciar o utilizador a conseguir completar o segundo objetivo, ou seja, manter durante 5 segundos o copo na mesma posição, averiguou-se que seria relevante a obtenção de um ritmo que origine um ambiente de atenção e foco, mostrando ao utilizador que durante os 5 segundos terá de estar concentrado apenas na manutenção da posição. A melhor forma de criar a sensação de desafio durante um jogo é produzindo um som de um temporizador. Desta forma, o utilizador ao sentir o ritmo atinge um estado de atenção e foco, em que se vê na necessidade de estar alerta para agir rápido com as diferentes situações que possam surgir, como por exemplo no final de um jogo existir uma contagem decrescente para a pessoa saber que o tempo se está a esgotar. É nessa situação que uma pessoa atinge picos de adrenalina por saber que o jogo está a acabar e que tem que se esforçar para obter a melhor pontuação. Outra propriedade que gere esta ânsia enunciada anteriormente é a reprodução de ritmos de pulsação, idênticos ao som de batimento cardíaco. Esta técnica é usada em cenas de filmes ou jogos em que é reproduzido o som do batimento cardíaco para gerar uma circunstância de suspense, o que deixa a pessoa num estado de ansiedade para ver o que irá acontecer.

Tendo em conta as duas particularidades abordadas, e para obter um som que desperte os efeitos pretendidos no paciente, optou-se por juntar um som de um temporizador, tipo “tic-tac” de um relógio [27], com um ritmo de pulsação, idêntico ao batimento cardíaco a marcar o início de cada compasso.

3ª Etapa

Na terceira etapa pretende-se congratular o utilizador por ter conseguido alcançar o objetivo. Neste contexto é desejável o despertar de uma sensação de realização, em que a pessoa se deverá sentir alegre e satisfeita. Para despertar as emoções pretendidas considerou-se vantajosa a integração de sons relativos a celebrações. Partindo de uma linguagem universal um dos símbolos de celebração mais mediáticos são as palmas [28]. Querendo despertar esta sensação no utilizador da aplicação *FOG*, foi integrado o som de palmas logo que o utilizador conclua o 2º objetivo. Para além do som “palmas” foi também incorporado outro som que complementa as felicitações. Trata-se de um som desenvolvido através de síntese sonora com o auxílio do *Pd*, que apresenta notas com frequência crescente, marcando assim o momento da celebração como um momento alegre.

Sonificação com geração de sons interativos

As variáveis disponibilizadas pelos sensores do dispositivo (Tabela 4.2) são utilizadas para a geração/modulação de sons.

Tabela 4.2 - Varáveis provenientes dos sensores do dispositivo *SHaRe*

Sensores	***Variáveis***
IMU	Orientação espacial do dispositivo
Célula de carga	Força de preensão

O *IMU* disponibiliza a orientação espacial sob a forma de quaternião que posteriormente são convertidos para ângulos de Euler. A célula de carga fornece informação que traduz a força de preensão exercida em *kgf*.

De seguida foram desenvolvidas implementações sonoras que a partir dos valores adquiridos geram uma modulação a um som. Esta modulação sonora, cujo a sonoridade é modelada em amplitude e em frequência, em tempo real, pelos valores das variáveis de orientação e força de preensão respetivamente, vem substituir a presença de excertos musicais durante a passagem pela 1ª etapa. A sonificação na segunda e na terceira etapa, mantêm-se sem qualquer alteração.

- Efeito de som 3D (modulação em amplitude)

Durante o desenvolvimento da aplicação foi necessário a integração de um sistema de eixos que é utilizado para definir os limites do movimento que o copo virtual pode realizar, bem como obter as coordenadas do copo "azul" (pequeno) em cada instante (Figura 4.10).

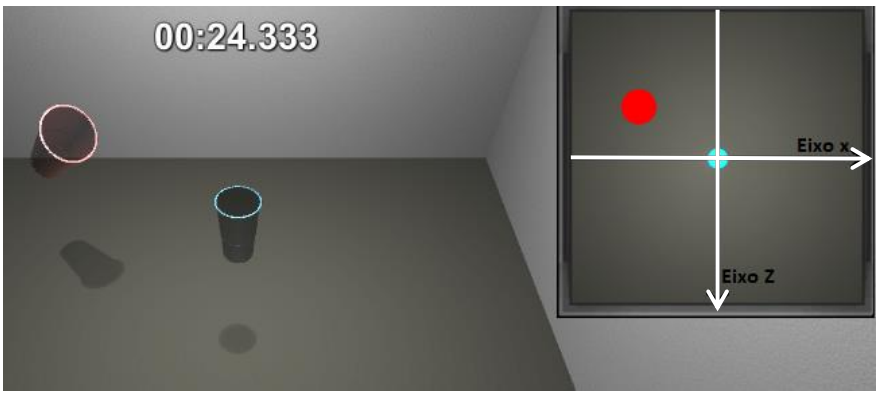


Figura 4.10 - Sistema de eixos do ambiente virtual

A posição do copo "azul" é apenas definida no plano XZ, sendo que o eixo XX representa a largura da sala, e o eixo dos ZZ representa a profundidade da sala virtual.

A variação da posição e orientação do copo "azul" provém da orientação espacial, fornecida pelo *IMU* presente no copo do utilizador (*SHaRe*), sendo que o copo "azul" inicia sempre a aplicação na posição "zero". Quando o copo "azul" é inclinado para a direita incrementa o valor da coordenada XX movimentando-se na direção do lado direito da sala virtual, quando inclina para a esquerda decrementa o valor da coordenada XX movimentando-se na direção do lado esquerdo da sala, para o eixo dos ZZ acontece um procedimento idêntico tratando-se neste caso da profundidade (trás/frente).

Pretende-se deste modo, a partir do mapeamento da posição do copo "azul", a integração de um *feedback* sonoro com efeito tridimensional, que ofereça ao utilizador perceção espacial. Para tal utiliza-se um sistema de reprodução estéreo, direita e esquerda, em que a amplitude do som reproduzido em cada saída de som varia consoante a posição do copo, quanto mais à direita,

mais intenso será o som nessa saída, o mesmo comportamento para a saída da esquerda, esta variação esquerda/direita é feita pelo mapeamento do eixo XX. Para obter a noção de profundidade da sala o volume total das duas saídas de som sofre uma diminuição à medida que o copo azul se afasta, nesta situação a modulação da intensidade é feita pelo valor da leitura do eixo ZZ.

- Som de aproximação (modulação em frequência)

Foi desenvolvido um *feedback* sonoro que se altera em função da distância entre o copo "azul" e o copo "vermelho", este mantendo-se fixo. Este valor é obtido calculando a distância entre a coordenada instantânea do copo "azul" e a coordenada do copo "vermelho". Consoante o utilizador se aproxima do copo "vermelho" a distância diminui aumentando assim a frequência de reprodução (ritmo) do som construído. Esta interação apenas se encontra disponível no modo "fácil" da aplicação *FOG*.

-Som de força (modulação em frequência)

Foi concebido um *feedback* sonoro que varia de acordo com a força de preensão exercida pelo utilizador. A informação é dada pela leitura da variável proveniente da célula de carga. A variação da força exercida é usada para criar uma modulação em frequência de um som, sendo a frequência proporcional à força efetuada. Esta modulação apenas está disponível no modo difícil da aplicação *FOG*.

Com o intuito de tornar a aplicação *FOG* ainda mais interessante foram adicionados alguns sons característicos de jogos (Figura 4.11) que pretendem complementar as diferentes partes que constituem o jogo. Tratam-se de sons com construção simples e amostras de curta duração obtidos de uma base de dados *online* [29], que apenas dão entoação aos diferentes momentos vividos durante a experiência.

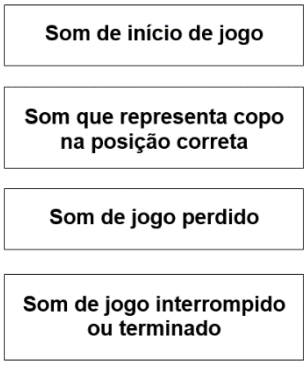


Figura 4.11 - Sons desenvolvidos para feedback sonoro do *FOG*

4.3.2 Sistema WESt

O sistema *WESt* [9] é constituído por um dispositivo que permite a avaliação da amplitude dos movimentos do pulso, tendo também a possibilidade de servir como ferramenta para a realização de exercícios de reabilitação. O conjunto é constituído por um dispositivo instrumentado e por aplicações informáticas que complementam o funcionamento.

O sistema *WESt* permite determinar de um modo objetivo a amplitude dos movimentos efetuados pelo pulso. A instrumentação deste sistema utiliza dois potenciómetros rotativos, para além de fins de curso para deteção dos extremos nos eixos de movimento. É utilizado um Arduíno que comunica por cabo *USB* com um computador onde reside a aplicação desenvolvida. A aplicação permite a monitorização dos movimentos do pulso, nomeadamente pronação/supinação, flexão/extensão e desvio radial/ulnar (Figura 4.12), fornecendo ao utilizador informação, em tempo real, sobre a amplitude do respetivo movimento.

A aplicação criada para o dispositivo *WESt* foi desenvolvida utilizando o *software Processing* focando-se o presente trabalho na integração da componente sonora apenas na aplicação desenvolvida para *PC*. Para o desenvolvimento do *design* sonoro foi utilizado a biblioteca *Minim* que permite a integração de som no *software Processing.*

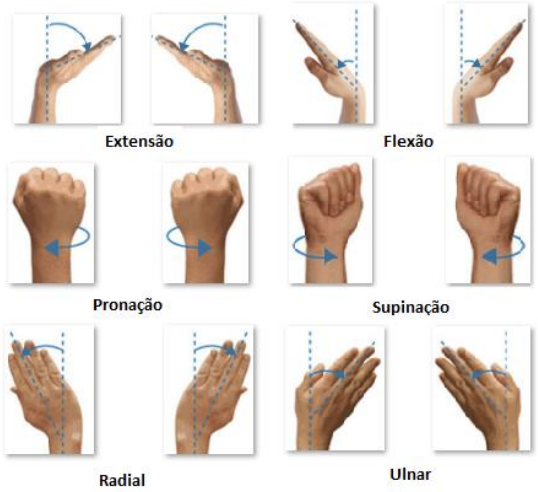


Figura 4.12 - Movimentos do pulso

Funcionamento da aplicação:

- O utilizador coloca o braço no suporte e agarra a pega (Figura 4.13).

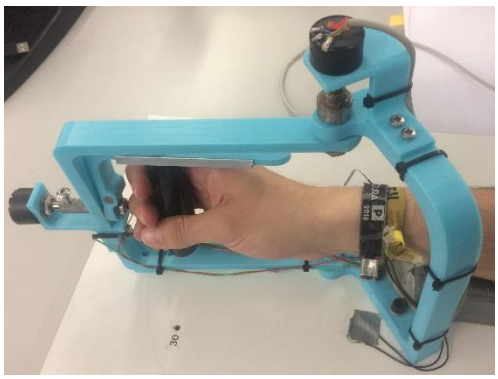


Figura 4.13 - Posição da mão no dispositivo *WESt*

- O dispositivo possui dois graus de liberdade (Figura 4.14), permitindo realizar e monitorizar todos os movimentos referidos na figura 4.12.

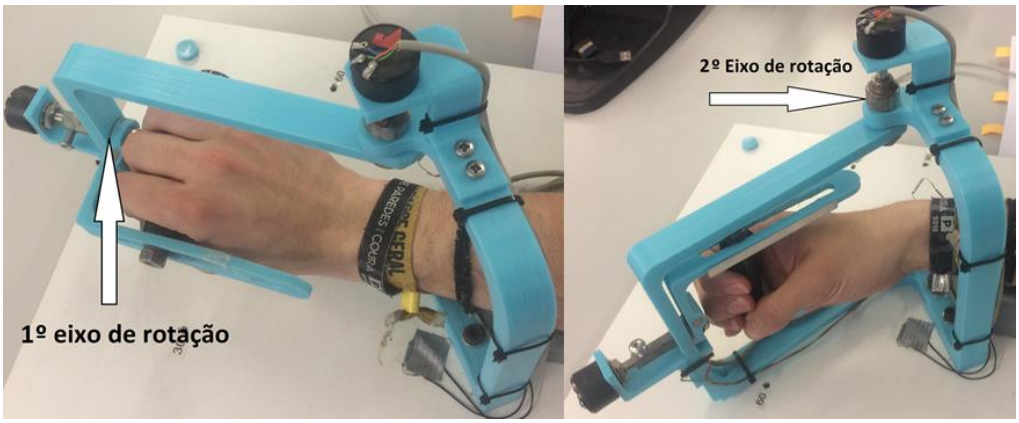


Figura 4.14 - Os dois eixos de rotação

- A monitorização do deslocamento angular de cada eixo é realizada pela leitura do respetivo valor dado pelo potenciómetro que lhe está associado. O valor do angulo expresso em graus é apresentado em tempo real na aplicação gráfica (Figura 4.15).

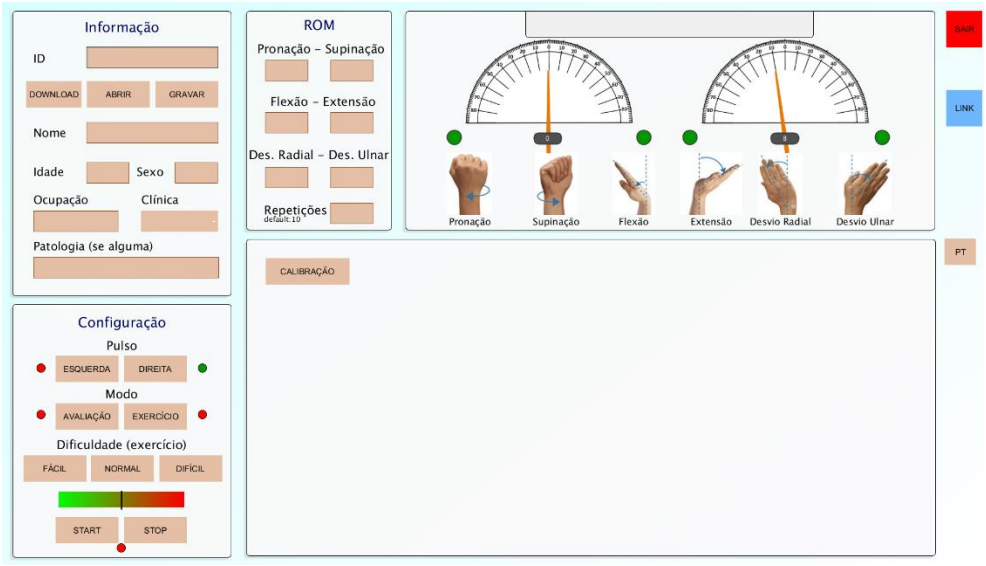


Figura 4.15 - Aplicação do dispositivo *WESt*

A aplicação existente permite a utilização do dispositivo em dois modos distintos:

- Avaliação - permite identificar a amplitude de movimento do pulso;
- Exercício - cria uma série de desafios que obriga o utilizador a cumprir os objetivos, assemelha-se a um jogo.

Ambos os modos disponíveis promovem a realização dos mesmos movimentos do pulso, com a diferença de que um permite avaliar a amplitude dos movimentos efetuados, enquanto o outro permite o treino e execução de movimentos repetidos.

Estrutura melódica:

A princípio foi realizado um levantamento dos dados adquiridos pelo dispositivo instrumentado. Deste modo procura-se um método que permita a integração do *feedback* sonoro e que possibilite a modulação de algum parâmetro do som utilizado, consoante a alteração do valor de uma variável.

Cada eixo do dispositivo *WESt* possuí um potenciómetro que permite monitorizar a posição angular do referido eixo, como já foi referido. Deste modo foi possível a modulação em amplitude dos sons consoante o valor do ângulo medido em cada eixo.

Numa 1ª fase foi desenvolvida a estrutura sonora para o modo de avaliação (Figura 4.16), sendo que o utilizador tem de realizar diferentes movimentos técnicos do pulso, nomeadamente extensão/flexão, pronação/supinação e desvio radial/desvio ulnar, sendo o objetivo avaliar a capacidade da amplitude de cada um deles.

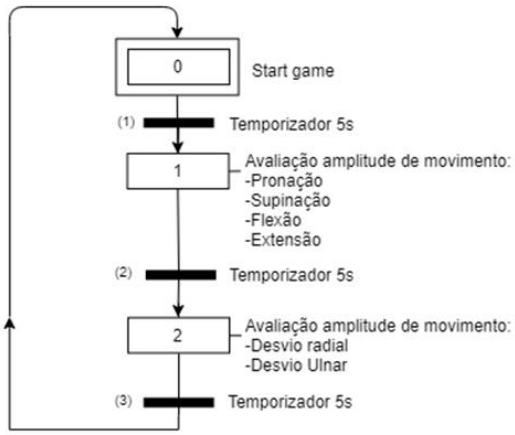


Figura 4.16 - *Grafcet* - modo Avaliação

Foi concluído que para estabelecer interação com o utilizador seria pertinente mapear cada movimento realizado com diferentes excertos de sons obtidos *online* em [29], que alteram a sua intensidade (modulação em amplitude) consoante o valor do ângulo medido de cada eixo. Os sons, assim como os respetivos movimentos que causam a sua modulação são apresentados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Ordem dos movimentos técnicos realizados e respetivos sons

Movimento	***Som***
1º Pronação	Grilos
2º Supinação	Pássaros
3º Flexão	Vento
4º Extensão	Lareira
5º Desvio Radial	Rio a correr
6º Desvio Ulnar	Praia

Para além do controlo destes sons quando é corrido o modo avaliação tem-se também uma música de fundo que pretende disponiblizar um ambiente relaxante.

Na 2ª fase desenvolveu-se a estrutura sonora para o modo de exercício. Como já foi referido anteriormente este modo tem especial foco no treino com repetições dos movimentos, onde é possível definir a amplitude dos movimentos e o número de repetições, tratando-se portanto de uma série de desafios que são impostos ao utilizador (Figura 4.17).

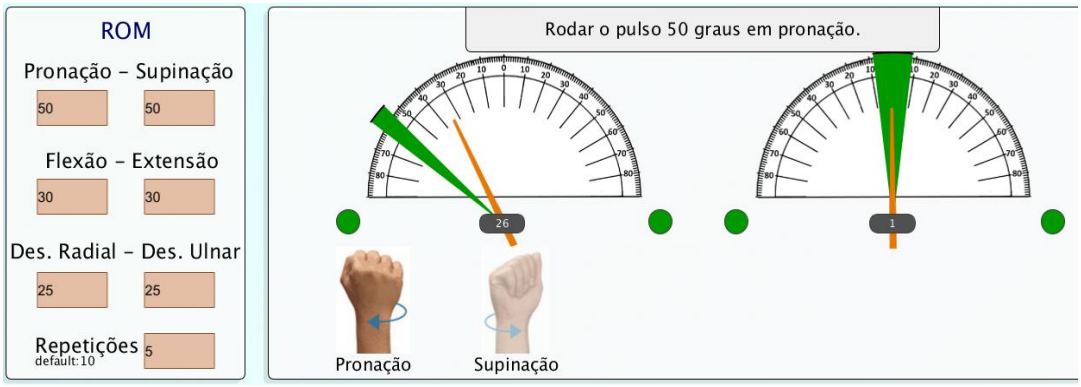


Figura 4.17 - Painel de definição dos parâmetros do exercício

A produção do *feedback* sonoro para o modo do exercício difere um pouco do modo de avaliação, pois neste caso pretende-se que o utente sinta um ambiente de atenção e foco, que o force à realização das repetições exigidas pelo exercício.

Para essa finalidade foi escolhida uma música de fundo com um ritmo alegre e progressivo, ganhando mais corpo no desenrolar do exercício. Simultaneamente, foi concebida a incorporação de sons que variam com a posição angular, sendo que neste caso sofrem uma modulação de intensidade (amplitude) sofrendo o pico máximo na posição angular definida como objetivo e que o utilizador pretende atingir. Consequentemente quando se define, por exemplo, o valor objetivo de 60º para o movimento de pronação e supinação, a amplitude do som da água a correr irá ser ouvida de forma cada vez mais intensa até ao seu máximo, que acontece quando se atinge a referida posição de 60º.

Os sons correspondentes aos movimentos envolvidos no exercício são apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Movimentos técnicos e respetivos sons

Movimento	*Som*
Pronação/ Supinação	Rio a correr
Flexão/Extensão	Pássaros
Desvio Radial / Desvio Ulnar	Praia

Como se pode ver, ao contrário do que foi feito no modo avaliação, não foi destacado um som distinto para cada movimento. Tal motivo é justificado pelo facto de o modo exercício envolver três objetivos distintos, como se pode observar na figura 4.18, sendo que em cada objetivo terá de se completar o número de repetições definidas.

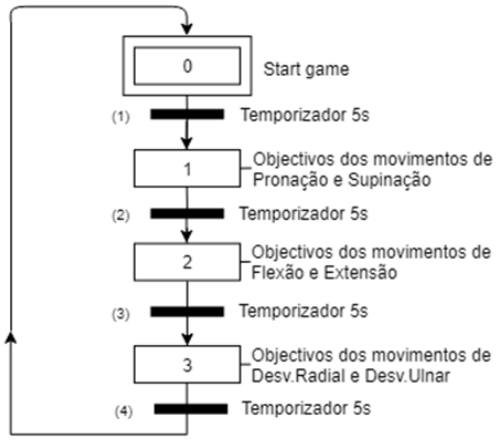


Figura 4.18 - *Grafcet* - modo Exercício

No *grafcet* apresentado na figura 4.18 também é possível verificar a presença de um temporizador que obriga o utilizador a manter uma posição fixa durante 5 segundos e indica o final das repetições exigidas em cada uma das partes. Deste modo foi inserido o som de "tic-tac" de um relógio para induzir o utilizador a um momento de concentração. No final de cada parte foi integrado um som curto alegre, e com notas crescentes para felicitar o utilizador por atingir os objetivos.

4.4 Conclusão

Este capítulo apresentou o desenvolvimento da estrutura sonora para a integração do *feedback* sonoro nas aplicações do dispositivo *SHaRe* e do dispositivo *WESt*, de forma a oferecer exercícios de reabilitação que despertem um maior interesse ao utilizador, tornando a atividade mais motivadora e a sua utilização uma experiência mais agradável.

Foram realizadas sonificações distintas, tendo nuns casos sido utilizada a inclusão de excertos musicais e noutros interação sonora. Estes desenvolvimentos envolveram sistemas concebidos em diferentes *softwares* (*Unity* - Motor de jogos e *Processing* – IDE, *Integrated Development Enviorenment*).

Deste modo os dois sistemas poderão constituir uma potencial prova de conceito, face aos tradicionais sistemas de reabilitação da mão.

5 Pré-validação experimental

5.1 Introdução

Depois do desenvolvimento da estrutura sonora e da sua integração com os sistemas, é importante validar funcionamento das soluções sonoras implementadas recolhendo a opinião de profissionais da área da reabilitação.

5.2 Teste e demonstração dos dispositivos com sonificação

Profissionais e estudantes da área terapêutica da Escola Superior de Saúde (ESS) do Instituto Politécnico do Porto (IPP) participaram na avaliação da aplicação FOG com sonificação para o sistema *SHaRe*.

Foram inqueridas seis pessoas do sexo feminino, uma especialista e uma terapeuta da área da reabilitação da mão e quatro estudantes de mestrado. Cinco dos participantes com menos de 24 anos e um entre 40 e 65 anos, testaram, avaliaram e criticaram construtivamente o trabalho desenvolvido.

A metodologia seguida envolveu uma demonstração inicial do funcionamento da aplicação *FOG* **"sem sonificação"**. De seguida foi demonstrada a versão **"com sonificação"**. No fim da fase de demonstração decorreu o teste individual, permitindo aos participantes experimentar as funcionalidades disponíveis na aplicação *FOG*. Após as demonstrações e os testes individuais, cada um dos participantes preencheu um inquérito preparado para o efeito apresentado no Anexo B, cujos resultados se descrevem.

- Na preferência de utilização da aplicação FOG, cinco pessoas preferiram o funcionamento "Com sonificação" e apenas uma preferiu "Sem sonificação" tendo relatado que, consoante a patologia e estado de condição do paciente, poderia preferir a opção "Com sonificação";
- Relativamente à sonificação utilizada com recurso a excertos musicais, quatro pessoas consideraram como sendo "Adequado" e duas "Pouco adequado". Quanto aos sons utilizados para a sonificação, quatro pessoas consideraram "Pouco adequado" e duas "Adequado";
- Na opção sonora favorita, todos os inquiridos escolheram a sonificação com excertos musicais em que três preferiram "Rock/Pop Internacional", dois "Música Clássica" e um "Rock/Pop Português". Foi referido que a opção de sonificação com recurso a "Sons Interativos" necessita de estar mais presente, para o utilizador conseguir ouvir e perceber a variação dos sons durante a realização do exercício;
- Todos os inquiridos reconheceram que a sonificação da aplicação *FOG* contribui para a motivação do utilizador;
- Quatro dos inquiridos reconheceram que utilizariam/recomendariam a aplicação *FOG* "Com sonificação" para reabilitação, e os restantes dois consideraram que

utilizariam/recomendariam, mas que a utilização da sonificação deverá estar dependente da condição ou patologia do paciente.

Foi ainda sugerido o desenvolvimento de uma versão da aplicação *FOG* para crianças que necessitam de tratamento de fisioterapia, com as devidas alterações, nomeadamente o ambiente da aplicação e as músicas escolhidas.

Para além da visita à ESS, foram efetuadas duas demonstrações públicas do dispositivo sonificado *SHaRe*, a uma população superior a 300 pessoas, permitindo recolher opiniões de múltiplas áreas.

A 1ª demonstração foi realizada no INL (International Iberian Nanotechnology Laboratory) no evento "*Health Cluster Portugal - Meetings with Health Innovation*" e a 2ª demonstração realizou-se no LIM no evento "Conheça a sua Casa" organizado pelo INEGI.

Em ambos os locais a aplicação *FOG* funcionou corretamente. Sobre a sonificação, as pessoas mostraram muito interesse e entusiasmo com as músicas reproduzidas, deixando algumas sugestão de temas a inserir no jogo. Contudo, apenas um reduzido número de participantes emitiu opinião sobre a utilização da aplicação *FOG* na área terapêutica, Refira-se contudo que, os comentários foram positivos reconhecendo como vantajosa a integração da sonificação.

5.3 Conclusão

Durante a realização deste trabalho procurou-se o desenvolvimento e melhoria das condições oferecidas à reabilitação dos pacientes. Nesse sentido foi integrada a sonificação na aplicação *FOG* do dispositivo *SHaRe* e na aplicação do dispositivo *WESt*.

A aplicação *FOG* foi testada por profissionais de saúde, que o avaliaram e criticaram construtivamente, achando pertinente e adequado o trabalho desenvolvido.

A sonificação do dispositivo *WESt*, não foi ainda testada ficando como proposta para trabalhos futuros.

6 Conclusões e trabalhos futuros

6.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido cumpriu os objetivos propostos, tendo sido desenvolvido o feedback sonoro para integração em aplicações existentes em sistemas de reabilitação com dispositivos instrumentados. Foram utilizados como casos de estudo os sistemas SHaRe e WESt. Para estes existiam já diferentes aplicações informáticas com feedback visual, validadas por terapeutas da área da reabilitação, e já utilizadas em ambiente clínico. No caso do sistema SHaRe a sua utilização foi validada, na Unidade de Fisiatria do Instituto CUF do Porto, e no caso do WESt a sua utilização foi validada num projeto de dissertação [30]. Para cada um dos casos de estudo referidos e tendo em conta as suas distintas particularidades, foi desenvolvido o *design* sonoro adequado, com o objetivo de potenciar o agrado e uma maior aderência à realização dos exercícios de reabilitação por parte dos pacientes.

Foram consideradas duas abordagens para a implementação da componente sonora. A primeira recorre a uma aplicação independente da existente para o feedback visual, o que requer uma sincronização de funcionamento. A segunda passa por incorporar na aplicação já existente a componente sonora. Apesar desta abordagem exigir um maior esforço computacional para a sua implementação, foi reconhecido como a opção mais eficaz e compacta para as aplicações existentes.

Ao longo do trabalho foram desenvolvidas várias opções de sonificação, como a incorporação de excertos musicais durante a realização dos exercícios, bem como a incorporação de sons, tentando promover a interação do utilizador com o dispositivo. No caso da incorporação de sons, estes foram modulados em frequência e em amplitude tirando partidos dos dados dos sensores incorporados nos dispositivos instrumentados, tendo no sistema SHaRe sido utilizadas as informações de força e orientação. Na incorporação de excertos musicais o paciente pode optar pelo estilo musical de sua preferência.

A sonificação implementada para além de motivar o paciente também lhe permite aperceber-se do seu desempenho e evolução.

A integração da sonificação veio ao encontro do pretendido, onde se verificou juntamente com especialistas da área terapêutica que os aspetos que se pretendia atingir foram alcançados, concluindo deste modo que o feedback sonoro é bem-recebido em exercícios de reabilitação, tornando os dispositivos apresentados uma boa alternativa aos exercícios convencionais de fisioterapia, e tornando-os bastante competitivos face ao mercado existente.

A sonificação criada para o sistema SHaRe foi demonstrada e avaliada por uma especialista da área da reabilitação da mão, uma terapeuta e quatro estudantes, na Escola Superior de Saúde do IPP. A aceitação e comentários foram positivos havendo uma opinião unânime no interesse de utilização da versão da aplicação FOG com sonificação relativamente à versão não sonificada.

6.2 Trabalhos futuros

O trabalho realizado permitiu a criação de uma prova de conceito que tem que ser validada em ambiente clínico.

Como desenvolvimentos de trabalhos futuros, destaca-se o teste da sonificação desenvolvida para o sistema WESt e os seguintes trabalhos ao nível de:
Design sonoro:

- Explorar a criação de outros sons modulados;
- Rever opções de equalização e de sons de fundo;

Sonificação:

- Explorar a utilização de *Heavy Compiler* [31] em alternativa ao *libpd4unity* para integração no *Unity* da estrutura sonora desenvolvida em *Pure Data*.

Aplicação:

- Desenvolvimento de uma aplicação de *feedback* sonoro orientada para invisuais, para os quais o *feedback* visual não é aplicável.

Referências

[1] S. K. Chaturvedi, "E-Rehabilitation: New Reality or Virtual Need?," *Journal of Psychosocial Rehabilitation and Mental Health,* vol. 4, nº 1, pp. 1-3, 2017.

[2] D. Kressel, G. De Leon, M. Palij e G. Rubin, "Measuring client clinical progress in therapeutic community treatment," *Journal of Substance Abuse Treatment,* vol. 19, nº 3, pp. 267-272, 2000.

[3] K. Lohse, N. Lambert-Shirzad, A. Verster e N. J Hodges, "Video Games and Rehabilitation: Using Design Principles to Enhance Engagement in Physical Therapy," *Journal of Neurologic Physical Therapy,* vol. 34, nº 4, pp. 166-175, 2013.

[4] S. Schneider, T. Müünte, A. Rodriguez-Fornells, M. Sailer e E. Altenmüüller, "Music-Supported Training is More Efficient than Functional Motor Training for Recovery of Fine Motor Skills in Stroke Patients.," *Music Perception: An Interdisciplinary Journal,* vol. 27, nº 4, pp. 271-280, 2010.

[5] P. J. Rentfrow, "The Role of Music in Everyday Life: Current Directions inthe Social Psychology of Music," *Social and Personality Psychology Compass,* vol. 6, nº 5, pp. 402-416, 2012.

[6] W. F. Thompson, Music, thought, and feeling: Understanding the psychology of music, 2nd ed., New York, NY, US: Oxford University Press, 2015, ISBN: 0195377079.

[7] D. Fonseca, "Dispositivo para treino na manipulação de objetos de uso quotidiano," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Tese de Mestrado, Porto, 2016.

[8] F. Carneiro, R. Tavares, J. Rodrigues, P. Abreu e M. T. Restivo, "A Gamified Approach for Hand Rehabilitation Device," *International Journal of Online Engineering (iJOE),* vol. 14, nº 1, p. 179, 2018.

[9] P. Costa, "Conceção e desenvolvimento de dispositivo para monitorização do movimento do pulso," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Tese de Mestrado , Porto, 2017.

[10] A. G. D. Corrêa, "Realidade aumentada musical para reabilitação: Estudo de caso em musicoterapia," Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese de Doutoramento, Sao Paulo, 2011.

[11] E. Williams e J. Williams, The Soundbeam Handbook, Bristol, Inglaterra: The Soundbeam Project, 2002.

[12] A. Glinsky, Theremin: Ether Music and Espionage, Chicago, United States of America: University of Illionis Press, 2000, ISBN: 0252072758.

[13] D. M. Huber, The MIDI manual, Sams, USA: Carmel, Ind, 1991 , ISBN: 0672227576.

[14] "M2M Design brief," 2016. [Online]. Available: https://sites.psu.edu/resnasdc/files/2016/08/Submission-91-Design-Brief.pdf. [Acedido em Março 2019].

[15] Tyromotion , "Pablo," [Online]. Available: https://tyromotion.com/en/produkte/pablo/. [Acedido em Fevereiro 2019].

[16] A. Nica, C. Brailescu e R. Scarlet, "Virtual reality as a method for evaluation and therapy after traumatic hand surgery," *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine,* vol. 191, pp. 48-52, 2013.

[17] Flint Rehab , "FitMi," [Online]. Available: https://www.flintrehab.com/product/fitmi/. [Acedido em Abril 2019].

[18] FlinRehab, "MusicGlove Hand Therapy," [Online]. Available: https://www.flintrehab.com/product/musicglove-hand-therapy/. [Acedido em Abril 2019].

[19] N. Friedman, V. Chan , D. Zondervan , M. Bachman e D. Reinkensmeyer, "MusicGlove: Motivating and quantifying hand movement rehabilitation by using functional grips to play music,"," em *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, Massachusetts USA, 2011.

[20] S. Kirkham, "Real-Time Auditory Biofeedback System for Forearm and Hand Movements," [Online]. Available: https://pal.cct.brookes.ac.uk/real-time-auditory-biofeedback-system-for-forearm-and-hand-movements/. [Acedido em Março 2019].

[21] M. Puckette, "Pure Data: another integrated computer music environment," em *em Proceedings, Second Intercollege Computer Music Concerts*, Tachikawa, Japan, pp. 37-41, 1996.

[22] M. Wright, "Open Sound Control: an enabling technology for musical networking," *Organised Sound Journal* , vol. 10, nº 3, pp. 193-200, 2005.

[23] "Minim," [Online]. Available: http://code.compartmental.net/tools/minim/. [Acedido em Abirl 2019].

[24] GitHub, "libpd4unity," [Online]. Available: https://github.com/patricksebastien/libpd4unity. [Acedido em Abril 2019].

[25] L. Sugahara, "Música na escola: um estudo a partir da psicogenética walloniana," Tese de Mestrado, Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.

[26] P. Photinos, Musical Sound, Instruments, and Equipment, Morgan & Claypool Publishers, 2017 , ISBN: 978-1-6817-4681-4.

[27] S. Yamane e N. Matsumura, "The effect of a ticking clock on task performance," *Journal AI & Society,* vol. 30, nº 4, pp. 443-449, 2015.

[28] K. Makovsky, "The Origins of Applause," *Forbes* , 25 Março 2013.

[29] FreeSound, "FreeSound," [Online]. Available: https://freesound.org/. [Acedido em Abril, Maio 2019].

[30] A. Freitas, "Impacto do envelhecimento na amplitude de movimento do membro superior: comparação entre o método tradicional e o Wrist Evaluation System," Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto, Tese de Mestrado, Porto, 2018.

[31] M. Klang, "Compile Pure data patches with free online Heavy compiler," [Online]. Available: https://www.rebeltech.org/2018/09/12/compile-pure-data-patches-with-free-online-heavy-compiler/. [Acedido em junho 2019].

ANEXO A: Programação em *Pure Data*

No anexo A é apresentado partes do pacth desenvolvido em pure data. A figura A1 representa a rotina principal, a figura A2 representa a sub-rotina "rock" que establece a programação para a reprodução dos excertos musicais, sendo as restantes sub-rotinas de estilos musicais "classica e "portuguesa" idênticas. A figura A3 representa a opção "sons interativos", apenas com sons modulados em frequência e em amplitude.

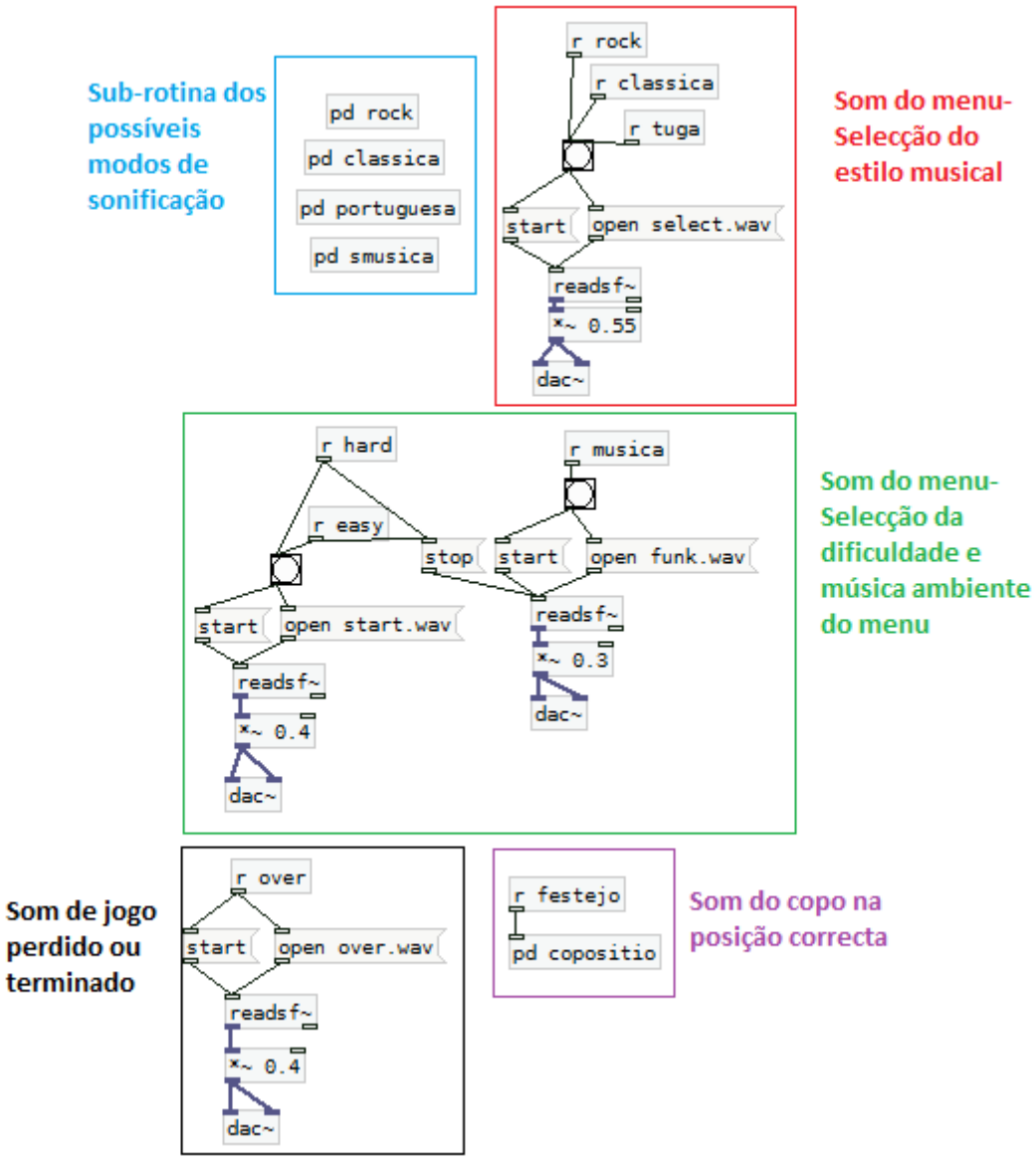


Figura A 1 - Rotina principal do pacth de *Pd* desenvolvido

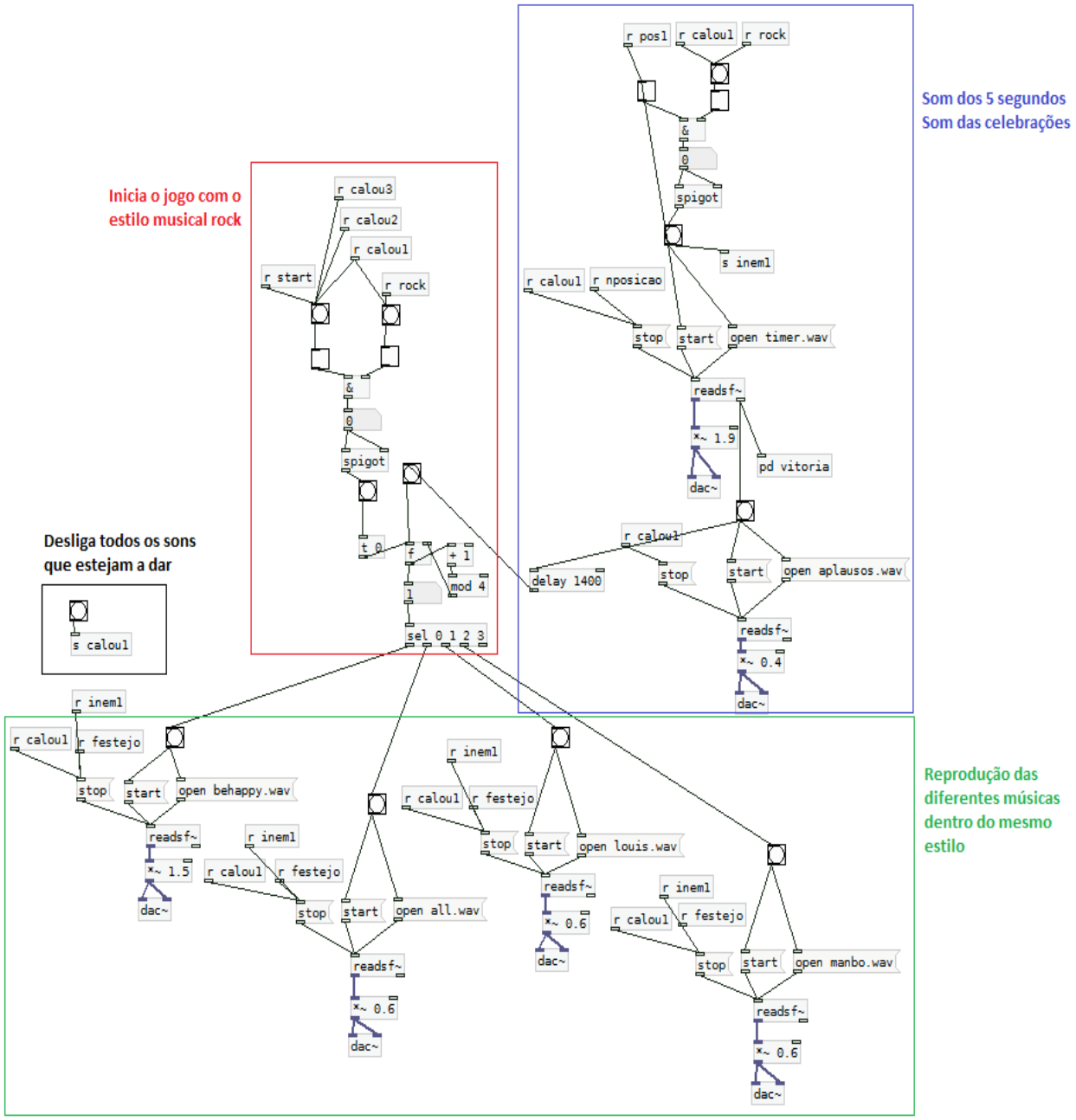


Figura A 2- Sub-rotina modo estilo musical rock

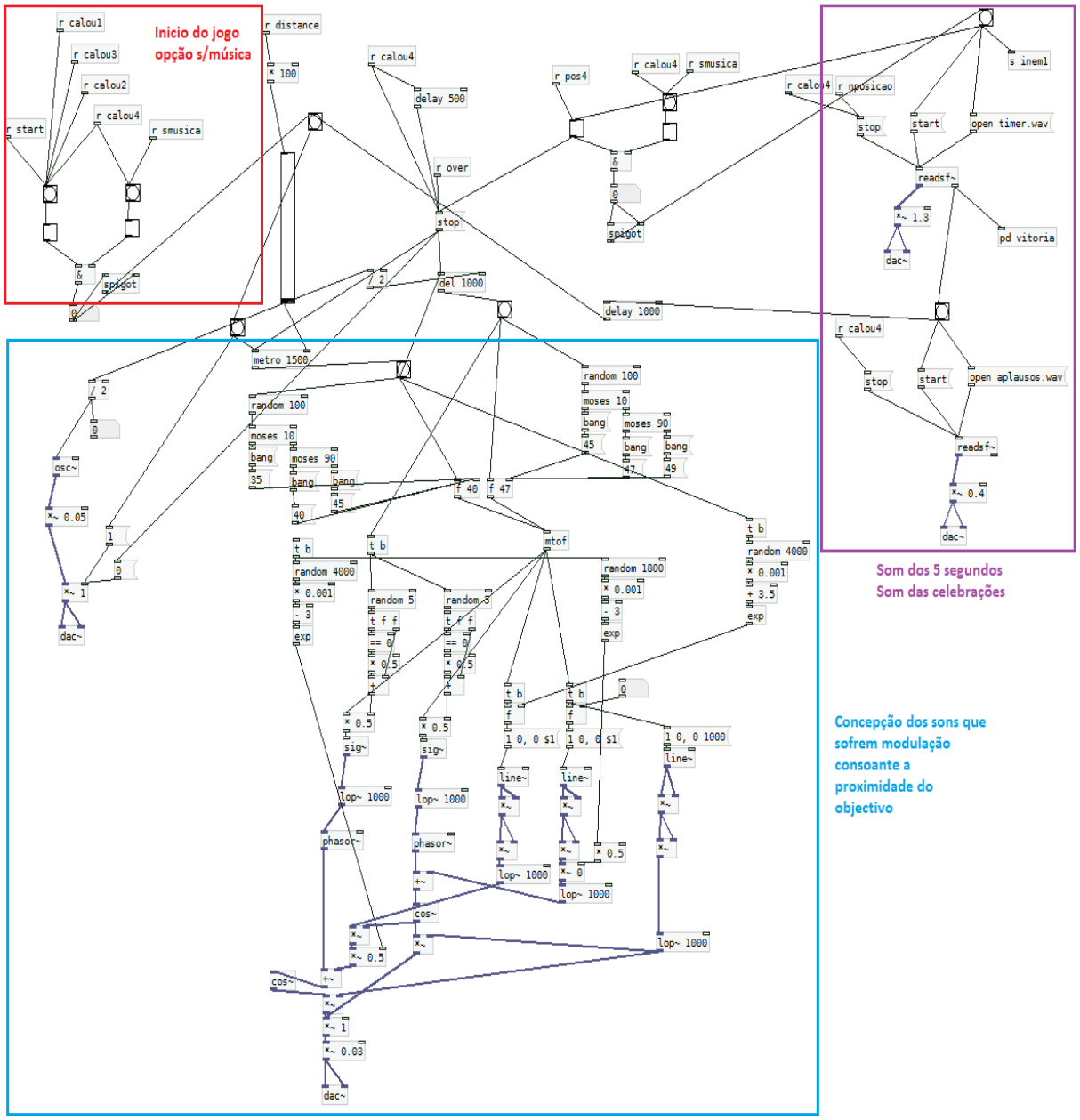


Figura A 3- Sub-rotina “sons interativos”

ANEXO B: Questionário de avaliação da aplicação *FOG*

Avaliação da sonificação da aplicação FOG para dispositivo SHARE

Dados pessoais

Utilizador	Sexo	Idade
☐ Estudante ☐ Terapeuta ☐ Paciente ☐ Outro : _____	☐ Masculino ☐ Feminino	☐ menos de 24 anos ☐ de 25 a 39 anos ☐ de 40 a 65 anos ☐ mais de 65 anos

Experiência na utilização

Preferência na utilização:

☐Com sonificação
☐Sem sonificação

Adequação da sonificação utilizada:

Músicas:	Sons:
☐Adequado	☐Adequado
☐Pouco adequado	☐Pouco adequado
☐Nada adequado	☐Nada adequado

Opção sonora favorita:

☐ Música
☐ Sons Interativos

Se respondeu música na pergunta anterior, qual o estilo favorito?

☐ Rock/Pop Internacional
☐ Rock/pop Português
☐ Música Clássica

Considera que a sonificação da app FOG pode contribuir para:

☐ Motivação
☐ Saturação
☐ Outro : _____

Utilizaria/Recomendaria a aplicação FOG para reabilitação ou terapia ocupacional?

☐ Sim, com sonificação
☐ Sim, sem sonificação
☐ Não