

123-SGR: Uma Arquitetura para Jogos Sérios Multimodais para Reabilitação

Jhonatan Thallisson Cabral Néry
 Dept. Ciência da Computação (DCC)
 Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
 Joinville, Santa Catarina, Brasil.
 jhonatanthallisson@gmail.com

Yuri Andreas May Henrique
 Dept. Ciência da Computação (DCC)
 Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
 Joinville, Santa Catarina, Brasil.
 m.yuri@outlook.com

Marcelo da Silva Hounsell
 Dept. Ciência da Computação (DCC)
 Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
 Joinville, Santa Catarina, Brasil.
 marcelo.hounsell@udesc.br

Resumo—Jogos Sérios para Reabilitação da Saúde podem ser limitados devido à necessidade de integrar vários sinais como entrada. Este artigo apresenta alguns Jogos Sérios já produzidos com este propósito e destaca características que têm sido esquecidas por eles: Flexibilidade, Complementaridade e, Segurança. Como forma de criar um modelo estrutural para facilitar a construção de Jogos Sérios para Reabilitação que atendam a estas três funcionalidades, foi observado o conceito de sistemas de interação multimodal, elemento fundamental que culminou na criação da arquitetura de software 123-SGR. Uma prova de conceito foi construída aprimorando um jogo sério para reabilitação respiratória existente, de modo que se tornou um Jogo Sério Multimodal para Reabilitação Respiratória.

Palavras-Chave—sistemas multimodais, e-Saúde, design de jogos, interação humano-computador.

Abstract—Serious Games for Health Rehabilitation may be limited due to the need to integrate various signals as input. This paper presents some Serious Games already produced for this purpose and highlights features that have been overlooked by them: Flexibility, Complementarity and, Security. As a way of creating a structural model to facilitate the construction of Serious Games for Rehabilitation that comply to these three functionalities, the concept of multimodal interaction systems was observed, a fundamental element that culminated in the creation of the 123-SGR software architecture. A proof of concept was built improving an existent serious game for respiratory rehabilitation, so that it became a Multimodal Serious Game for Respiratory Rehabilitation.

Index Terms—multimodal systems, eHealth, game design, human-computer interaction.

I. INTRODUÇÃO

A primeira definição de Jogo Sério (JS) foi feita em um livro [1], décadas atrás quando ainda eram citados jogos de negócios não digitais para diferentes contextos. Embora o termo JS contemple jogos analógicos e digitais, atualmente esse termo é usado quase que exclusivamente para jogos digitais [2]. JS são jogos que surgem, desde seu projeto, com um propósito específico que vai além do entretenimento [3], podendo ser dividido em vários tipos, como por exemplo jogos para o aprendizado, para treinamento, político/sociais, para a saúde,

dentre outros. A saúde é um dos campos de aplicação mais importantes para JS. Isto se reflete no grande número de jogos produzidos para o setor. Um total de 1743 “Jogos de Saúde” foram desenvolvidos em 23 países até 2016 [4].

Uma das vertentes da saúde é a reabilitação, que visa recuperar habilidades perdidas de pacientes. Tem surgido nas últimas décadas trabalhos que promovem esta reabilitação através da utilização de JS como ferramenta impulsionadora, dentre eles se encontram por exemplo JS para Reabilitação Motora, que aliviam sintomas gerados pelo Acidente Vascular Cerebral [5, 6, 7], pela doença de Parkinson [8], pela Esclerose Lateral Amiotrófica [9] e também reabilitando idosos frágeis [10, 11]. Existem ainda JS que auxiliam na Reabilitação de Distúrbios da Voz [12]; do Diabetes [13]; da Obesidade [14, 15]; e também JS para Reabilitação Respiratória, que auxiliam com os sintomas da Fibrose Cística [16, 17, 18], Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica [19, 20], Asma [21, 22], ou pode-se encontrar ainda JS que ofereçam suporte ao tratamento de vários distúrbios respiratórios [23, 24].

O uso de JS, tem se mostrado uma alternativa como potencializador para técnicas de reabilitação, pois as aplica por meio de mecanismos lúdicos e mais imersivos que outros métodos convencionais. No entanto, tendo em vista os exemplos citados, os JS voltados para a reabilitação não têm mostrado preocupação em atender aspectos como Flexibilidade, Complementariedade e Segurança:

- Flexibilidade: Sem esta, a execução de um JS se vê limitada ao uso de apenas um único dispositivo controlador e isto restringe o alcance do JS e, por consequência, o da terapia. Para corrigir este cenário, uma possibilidade é a disponibilização de múltiplas modalidades (formas de controle para o JS) possibilitando ao terapeuta escolher a melhor forma de utilização [25, 26];

- Complementariedade (informações mais completas): Através da combinação de diferentes fontes de informação sobre um fenômeno, se pode chegar ao melhor entendimento

sobre este [27]. O conceito é fator importante a se observar em jogos para reabilitação, pois ter uma maior clareza de informações sobre um paciente pode fazer com que sejam detectados e corrigidos padrões incorretos de exercícios terapêuticos [25];

- **Segurança:** Ao se usar um JS para reabilitação, ou para promoção da saúde em geral, em que seja requerido algum tipo de esforço físico, é possível que ocorra excesso de esforço, ou outro fator que provoque no paciente desconforto, ou ainda algo mais prejudicial que atrapalhe sua terapia. Como exemplo, durante, ou após exercícios prolongados é possível passar por um quadro de hiperventilação, que é uma condição na qual se começa a respirar muito rápido. Uma Hiperventilação grave pode levar à perda de consciência, ou resultar em problemas subjacentes [28]. Outros exemplo é em vez de respirar rapidamente, deixa-se inconscientemente de respirar durante o exercício, fazendo uma manobra de Valsalva. Isto pode produzir um aumento acentuado da pressão arterial, seguido de queda repentina e provocar também tontura ou desmaio [29].

Para que consequências indesejadas não ocorram é importante identificar possíveis efeitos colaterais durante o uso do JS e criar mecanismos para reverter a situação, seja diminuindo o ritmo, ou interrompendo a terapia. A avaliação de parâmetros físicos, como saturação do oxigênio e frequência cardíaca, podem ajudar a prover segurança ao paciente durante o uso de um JS para reabilitação [30, 19].

Para resolver estas questões do ponto de vista de entrada/saída de dados, para o software JS, observa-se o conceito de sistemas de interação multimodal, também conhecidos como sistemas de interfaces multimodais, ou sistemas multimodais que, em resumo, são sistemas que usam ao menos duas modalidades diferentes de entrada e/ou saída [31] e têm potencial para suprir os aspectos citados.

Os sistemas multimodais necessitam de mecanismos para o gerenciamento de interações, sendo que os principais são: mecanismo de “fusão”, que é o responsável pela aglomeração de sinais advindos das modalidades (dispositivos) iguais, ou distintas e; o mecanismo de “fissão”, que determina as modalidades que levarão as respostas do sistema ao usuário [32].

No contexto de JS, os conceitos de sistemas multimodais podem ser aplicados para prover “flexibilidade”, “complementariedade” e “segurança”, por meio da adaptação do jogo conforme condições parametrizadas pelo terapeuta, de modo que o jogo se ajuste automaticamente aos dispositivos usados e as leituras obtidas, alterando assim aspectos do jogo como mecânica e estética mas, principalmente, elementos do *level design* que se remetem a parâmetros objetivos da experiência do jogo, como por exemplo, altura de alvos, tamanho de obstáculos, espaço entre objetos e velocidade do jogo. O objetivo deste artigo é apresentar uma arquitetura multimodal para JS aderente às necessidades da área da saúde, em especial quanto a flexibilidade, complementariedade e segurança.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A partir da análise de uma pesquisa bibliográfica sistemática [33], iniciou-se uma busca por arquiteturas que auxiliem na criação de JS para a reabilitação ou sirva de guia para a criação de sistemas multimodais. Foram então encontradas e analisadas treze arquiteturas e cinco delas, com as considerações mais pertinentes ao tema, são detalhadas a seguir.

Arquitetura A1 [10]: Esta arquitetura consegue gerar JS com captura de movimentos para a prevenção de quedas em idosos e reabilitação. Comporta os dispositivos *Kinect*[®], celular, *Leap Motion*[®] e *Orbotix Sphero*[®]. Comporta flexibilidade, podendo-se variar entre controles, comporta complementariedade, como exemplo entre *Kinect*[®] e um celular. Não captura dados involuntários. Implementa um algoritmo de fusão de sensores que permite estimar a orientação de um celular e usá-lo como ponteiro para controlar a aplicação. Possui também componente de fissão e é indicada para a criação de jogos.

Arquitetura A2 [34]: É uma arquitetura para criação de JS em nuvem com foco em atender pacientes obesos, terapeutas e cuidadores. Computadores, *tablets*, celulares e sensores corporais são suportados. Os sinais vitais do paciente são armazenados em um elemento chamado “contexto do usuário”. Com base nos dados deste contexto, somados aos dados armazenados no perfil do jogador, o nível do jogo é definido, o que mostra captação de sinais involuntários e uso para definição do nível adequado de jogo, o que caracteriza uma adaptação para fornecer segurança, apesar do texto não evidenciar este ponto. A arquitetura descreve flexibilidade, pois é possível jogar isoladamente com qualquer um dos três dispositivos com tela, mas não existe complementariedade, pois não há junção de modalidades. Nesta arquitetura também não são descritos mecanismos de fusão e fissão.

Arquitetura A3 [35]: Objetiva construir sistemas que recebam vários sinais corporais. Os dispositivos suportados são: para eletrocardiograma (ECG) / eletroencefalograma (EEG) / e eletromiograma (EMG); oximetria de pulso; glicosímetro e sensor de temperatura corporal. No entanto não tem preocupação com segurança pois não envolve nenhum jogo, ou processo de reabilitação que exija esforço. Esta arquitetura consiste em três componentes principais: Sensoriamento e Pré-processamento; Comunicação e Análise; *Feedback* de dados para o paciente. O Sensoriamento e Pré-processamento possui módulos de filtragem e compressão. É descrito que pode haver um único tipo de sensor ou vários tipos, o que gera complementariedade (a combinação/fusão/de tipos diferentes de sensores é o mesmo que complementariedade). Não é mencionado um mecanismo de fissão.

Arquitetura A4 [32]: Os autores definem um modelo de comunicação multimodal homem-máquina (arquitetura) que serve de guia para a criação de sistemas deste tipo. O modelo começa dividindo a comunicação em quatro estados possíveis: Decisão, Ação, Percepção e Interpretação. Fazendo o caminho inverso da interação, tem-se um estado adicional, o de Computação e três dos estados originais, Ação, Percepção e Interpretação. No estado de Interpretação/Computação, onde

está alojado o sistema, existe ainda alguns componentes de *software* essenciais para um sistema multimodal, que juntos formam o “Comitê de integração”, são eles: Mecanismo de Fusão, Gerenciador de Diálogo, Módulo de fissão e Gerenciador de Contexto. É possível alegar que esta arquitetura prevê flexibilidade, complementariedade, fusão, fissão e aceita qualquer modo de interação/dispositivo, isto por ser um modelo genérico de arquitetura, porém, não mostra captura de sinais involuntários e não possui foco em jogos.

Arquitetura A5 [36]: Objetiva desenvolver JS para reabilitação e aceita qualquer entrada que reproduza algum sinal digital de dados, como expressões faciais, voz, *biofeedback*, rastreamento corporal, força, etc. Esta arquitetura descreve uma camada para reconhecimento de dispositivos, uma camada de reconhecimento intermediário, para determinar que modo de interação está sendo estabelecido (fala, toque, *biofeedback*, etc.), e uma camada de reconhecimento em alto nível, que realiza reconhecimentos mais complexos, como o de emoções, ou gestos). Esta arquitetura fornece muitas possibilidades de implementação, mas uma vez implementada uma aplicação, a mesma fica estática, retirando a possibilidade de flexibilidade, ou seja, o jogo sempre funcionará através do uso obrigatório dos dispositivos selecionados na implementação, porém a estrutura contém a possibilidade do uso complementar de modalidades.

De acordo com a arquitetura A5, quando um paciente seleciona um jogo, as entradas podem ser fornecidas por diferentes dispositivos e são mediadas pelo componente *Input Modality Manager* que faz uma abstração para suportar muitos dispositivos diferentes e é responsável pela fusão de sinais/interações. O módulo de *Logging & monitoring* salva os dados rastreados em arquivos locais. O componente *Output Modality Manager* é o responsável pela fissão de sinais. Nesta arquitetura existe captura de dados involuntários, porém não é descrito o uso para fornecer segurança.

III. COMPARAÇÃO ENTRE AS ARQUITETURAS

Os parâmetros de comparação são descritos a seguir:

- Captura de dados involuntários: Dados que são captados do usuário sem que este os esteja manipulando conscientemente;
- Captura de dados involuntários (Segurança): Dados que são captados do usuário sem que este os esteja manipulando conscientemente e que estejam sendo usados para prover segurança ao mesmo;
- Flexibilidade: Possibilidade de escolha entre mais de um dispositivo para controle do jogo/sistema;
- Complementariedade: Junção de dados para fornecer informações mais completas;
- Módulo de Fusão: Módulo responsável pela aglomeração de sinais advindos de modalidades (dispositivos) distintas.
- Módulo de Fissão: Módulo que determina as modalidades que levarão a resposta ao usuário;
- Contempla Jogos: Se a arquitetura foi pensada para a criação de jogos;
- Experimentação: Prova de conceito da arquitetura, produzindo-se um produto que mostre a eficácia da estrutura;
- Total: Soma dos parâmetros atendidos.

Como resultado da comparação, tem-se a Tabela I, que mostra todas as arquiteturas encontradas, onde se observa que as arquiteturas A12 e A13 preenchem apenas dois quesitos de comparação cada; três dos trabalhos capturam dados involuntários dos usuários para prover segurança (A2, A9 e A10); e a preocupação com a fissão de modalidades foi vista apenas em duas arquiteturas (A4 e A5). A maior quantidade de quesitos atendidos foi obtida pela arquitetura A5, totalizando seis pontos dentre oito. Nenhuma das estruturas preencheu tudo o que foi destacado, e nenhuma delas contempla flexibilidade, complementariedade e segurança juntas. A arquitetura clássica A4 [32] não é suficiente para exprimir as interações multimodais em jogos para reabilitação, entretanto, a mesma possui uma maleabilidade característica e por este motivo será usada como base para a criação de uma nova arquitetura.

IV. ARQUITETURA 123-SGR

Esta sessão apresenta a arquitetura 123-SGR, assim denominada devido a caracterizar-se por ser uma - 1 - arquitetura de sistema interativo multimodal, que contempla além da dupla - 2 - direcionalidade do fluxo de interação, dois fluxos distintos de informação (consciente/voluntário e inconsciente/involuntário) para alcançar três - 3 - funcionalidades (flexibilidade, complementariedade e segurança) importantes para um JS para reabilitação (SGR - *Serious Games for Rehabilitation*).

A arquitetura desenvolvida foi gerada com determinado nível de abstração para possibilitar sua utilização nas várias áreas da reabilitação. Para criar uma arquitetura abrangente, foram utilizados alguns conceitos adquiridos a partir do estudo das arquiteturas apresentadas, como segue:

- Os estados de *Decisão, Ação, Percepção e Interpretação* foram utilizados da arquitetura (A4 [32]);
- Foi incorporado um módulo para estruturação e armazenamento de dados, que é importante ao se trabalhar com inúmeras modalidades (A6 [37]);
- Objetivou-se a leitura de vários sensores (do mesmo tipo, ou não) com possibilidade de conexão e utilização ao mesmo tempo (A1 [10]);
- Deve-se interceptar sinais dos controladores de jogo antes que eles atinjam o jogo, receber sinais fisiológicos do jogador como entradas, então adaptar os sinais dos controladores de acordo com os sinais fisiológicos do jogador, de modo a promover a motivação do paciente para permanecer no tratamento (princípio do *Flow*) (A7 [38]). Monitorar o progresso do jogador nos jogos em vários usos e adaptar o nível de dificuldade em consonância com o nível de habilidade atual do jogador (*Flow*) (A10 e A13 [13, 42]);
- Deve-se medir dados fisiológicos, como por exemplo frequência cardíaca, a fim de reduzir ou aumentar o nível de dificuldade do jogo, dependendo deste estado

TABELA I
COMPARAÇÃO ENTRE ARQUITETURAS ENCONTRADAS

ID	Ref.	Captura de dados involuntários	Captura de dados involuntários (Segurança)	Flexibilidade	Complementariedade	Módulo de Fusão	Módulo de Fissão	Contempla Jogos	Experimentação	Total
A1	[10]			x	x	x		x	x	5
A2	[34]	x	x	x				x	x	5
A3	[35]	x		x	x	x		x		5
A4	[32]			x	x	x	x			4
A5	[36]	x			x	x	x	x	x	6
A6	[37]				x	x		x	x	3
A7	[38]				x	x		x	x	4
A8	[22]	x						x	x	3
A9	[39]	x	x					x	x	4
A10	[13]	x	x		x			x	x	5
A11	[40]	x						x	x	3
A12	[41]			x					x	2
A13	[42]							x	x	2
123-SGR	...	x	x	x	x	x	x	x	x	8

fisiológico, de modo que ajude a promover a segurança do paciente (A9 [39]);

- É necessário adaptar elementos do jogo (mecânicas, *level design*, parâmetros) para que afetem por exemplo, o intervalo entre o surgimento de objetos virtuais, ou o tamanho destes objetos (A13 [42]);
- É preciso incorporar fusão, fissão, flexibilidade e complementariedade (A4 [32]);
- Deve mediar sinais com um componente como o *Input Modality Manager (Mixer)*, que tem por papel gerenciar os caminhos de cada sinal/modalidade (A5 [36]);
- Como se trata de uma arquitetura para jogos digitais, foram utilizados elementos conceituais de *Game Design*, são eles [43]: *Mecânica*: Representa os algoritmos, regras, ações e outros componentes do jogo; *Dinâmica*: Resultante da interação entre jogador e mecânicas; e *Estética*: Representa como o jogo se parece, ou ainda a resposta subjetiva emocional do jogador perante o jogo [43, 44];

A seguir é descrita a arquitetura 123-SGR para criação de Jogos Sérios Multimodais (JSM) para Reabilitação. Esta arquitetura é composta por três fluxos de interação: Fluxo Consciente, Fluxo Inconsciente e Fluxo de Retorno.

FLUXO CONSCIENTE:

O Fluxo Consciente é o que caracteriza a manipulação proposital de modalidades, feita pelo usuário para gerar um resultado no jogo.

- *Decisão*: Jogador cria conscientemente a mensagem;
- *Ação*: Jogador executa a ação que representa a mensagem pensada;
- *Percepção*: As mensagens são percebidas por um, ou vários dispositivos;
- *Jogo Sérico*: O JS multimodal interpreta os dados e significados que chegaram através da percepção. Dentro desta etapa tem-se os módulos Mixer e Interação:
 - Módulo Mixer: Módulo de gerenciamento de sinais que é composto por cinco núcleos: Desagregador de Sinais, Tratamento de Sinais, Fusão, Grade de Adaptação

e Fissão (este último utilizado apenas no Fluxo de Retorno):

Desagregador de Sinais: O sinal de alguns dispositivos é a junção de inúmeras informações. Este componente realiza a separação destas informações para que sejam usadas no jogo. *Tratamento de Sinais*: Componente que determina como o sinal é coletado, se existe necessidade de amplificação do sinal via *software*, como são extraídos dados viáveis e como estes dados viáveis são usados no jogo. *Fusão*: Representado por um retângulo em amarelo, ele recebe os sinais dos dispositivos e determina como cada um deles irá prosseguir. Se de forma complementar (um E outro); de forma flexível (um OU outro), ou de forma direta (quando existe apenas um sinal). Ao terminar o tratamento dos sinais, os mesmos são enviados para o núcleo Grade de Adaptação. *Grade de Adaptação*: Núcleo responsável por realizar os testes parametrizados por um terapeuta para gerar adaptações que podem afetar mecânica, dinâmica e estética. Como exemplo, analisar o progresso do jogador e caso este progresso esteja muito abaixo do esperado, o núcleo Dinâmica pode ajustar o sinal de controle consciente para que os objetivos sejam alcançados mais facilmente. A Grade de Adaptação mostra apenas adaptações para fins de *flow* (manter interesse do jogador) e para Avaliação física (prover segurança), mas este núcleo permite a adição de quantos testes e adaptações necessárias, respeitando possíveis conflitos de adaptação.

- Módulo Interação: Responsável pela aplicação das adaptações e da interação de fato com o JS. Este módulo possui 6 núcleos distintos:

Mecânica: Núcleo responsável pela ação a ser executada, como pular, ou andar, em decorrência das informações recebidas da Grade de Adaptação; *Dinâmica*: É o núcleo responsável pela dificuldade do jogo; controla parâmetros como velocidade, número de repetições, tamanho da área de colisão dos obstáculos, altura de colisão dos alvos, fórmula do *score*, etc,

alterando a dinâmica de jogo; *Estética*: Núcleo que determina os aspectos visuais do jogo, como cores e tamanho visual dos objetos; *Jogo*: Onde de fato mecânica, dinâmica e estética de jogo são aplicadas. *Armazenamento*: Componente onde os dados do jogo são armazenados, assim como os sinais colhidos pelos dispositivos, todos em registros separados por jogador e cronologia. *Perfil*: Armazenamento separado que serve de consulta para os núcleos Grade de Adaptação, Mecânica, Dinâmica e Estética, para que as adaptações efetuadas estejam de acordo com as capacidades e patologias descritas neste perfil de usuário.

FLUXO INCONSCIENTE:

A realização do Fluxo Consciente produz, para o paciente e para o sistema, informações inconscientes, ou não intencionais, relacionadas com efeitos fisiológicos (inúmeras vezes acima do limite desejável). Por exemplo, um JS que exija movimentação dos braços, pode levar a movimentação do tronco (compensação), ou possivelmente a um esforço (rápido e/ou intenso) que pode levar o jogador a ficar ofegante, tonto, etc. Este fluxo de interação é descrito a seguir.

- **Decisão**: Neste fluxo não existe uma decisão sendo tomada de forma proposital, mas uma reação provocada pelas ações conscientes do primeiro fluxo, por este motivo o estado “Decisão” não é evidenciado neste fluxo;
- **Ação**: Este estado representa agora uma reação expressa pelo usuário de forma involuntária, o que ajuda a caracterizar o estado físico do paciente durante o uso do jogo;
- **Percepção**: Mesmo comportamento do fluxo consciente, entretanto os sinais (mensagens) podem ser captados agora por dispositivos específicos para avaliação física;
- **Jogo Sério**:
 - **Módulo Mixer**: Os sinais chegam ao módulo Mixer, que neste fluxo contém os núcleos Desagregador de Sinais, Tratamento de Sinais, Fusão e Grade de Adaptação:

Desagregador de Sinais: Neste fluxo o núcleo também realiza a separação de informações quando mescladas, para que estas sejam usados no jogo, assim como ocorre no “Fluxo Consciente”; *Tratamento de Sinais*: Mesma função desempenhada no “Fluxo Consciente”; *Fusão*: Realiza a mesma fusão de sinais do primeiro fluxo e entrega os sinais tratados para a Grade de Adaptação; *Grade de Adaptação*: Dentro do Fluxo Inconsciente, esta é caracterizada como a responsável pela Avaliação da condição física do paciente para gerar Segurança, entretanto os fluxos desta natureza também podem ser usados aqui para outros testes/adaptações, como *Flow*, etc;
 - **Módulo Interação**:

Mecânica: Determina as ações no jogo, como pular, voar, etc, como descrito anteriormente; *Dinâmica*: O núcleo que ajusta a dinâmica de jogo, alterando parâmetros conforme as requisições da Grade de

Adaptação; *Estética*: Determina os aspectos visuais do jogo; *Jogo*: Executa o jogo de acordo com os ajustes de mecânica, dinâmica e estética; *Armazenamento*: Armazena dados do jogo e sinais coletados, inclusive índices alarmantes que possam ser analisados por um terapeuta posteriormente; *Perfil*: O perfil do usuário, que serve de consulta para que os componentes Grade de Adaptação, Mecânica, Dinâmica e Estética se adaptem conforme as características do jogador.

FLUXO DE RETORNO:

Ao receber sinais dos fluxos Consciente e Inconsciente, são aplicadas as modificações devidas ao jogo e, para completar o ciclo de interação, o jogo retorna uma resposta, mostrando ao paciente no que sua interação resultou no jogo. O fluxo de Retorno é descrito a seguir.

- **Jogo Sério**: Que neste fluxo é responsável pela análise das ocorrências de jogo e retorno ao usuário:
 - **Jogo**: Envia uma mensagem de resposta ao módulo Mixer;
 - **Perfil**: Componente que auxilia o módulo Mixer a enviar mensagens coerentes com o perfil do usuário como, por exemplo, avisando que o usuário possui quadro de deficiência auditiva e por isto o módulo Mixer não deve enviar resposta em um canal de áudio;
 - **Módulo Mixer**: Aciona agora o seu terceiro núcleo, Fissão, usado apenas no Fluxo de Retorno:
 - * **Fissão**: Analisa as possibilidades e seleciona os dispositivos a serem usados na entrega da resposta do Jogo;
 - **Ação**: A resposta fissionada é então passada através dos dispositivos disponíveis;
 - **Percepção**: Os sentidos do jogador captam a resposta;
 - **Interpretação**: O jogador interpreta o que significou a resposta dada pelo jogo e o ciclo de interação multimodal se repete até o fim da execução do jogo.

A Fig. 1 mostra a visão completa da Arquitetura 123-SGR, fruto da junção dos três fluxos descritos anteriormente.

V. ARQUITETURA 123-SGR APLICADA

A prova de conceito da arquitetura foi realizada a partir da adaptação de um JS chamado *I Blue It* [24]. O *I Blue It* é um JS para reabilitação respiratória. O jogador controla o golfinho *Blue* pelas fases do jogo. Este JS possui apenas um fluxo de interação, o Fluxo Consciente, onde o único controle é um dispositivo chamado PITACO (similar a um pneumotacógrafo), que permite a captura do fluxo respiratório do jogador. Os movimentos do *Blue* são controlados pelas ações respiratórias (inspiração e expiração). Como o jogo *I Blue It* é de código aberto, foi possível ter acesso ao mesmo e modificar seu código para aplicar a arquitetura 123-SGR.

A. Canais Multimodais para o *I Blue It*

A estratégia de aplicação da arquitetura levou em conta uma lista de dispositivos selecionados como possíveis adições

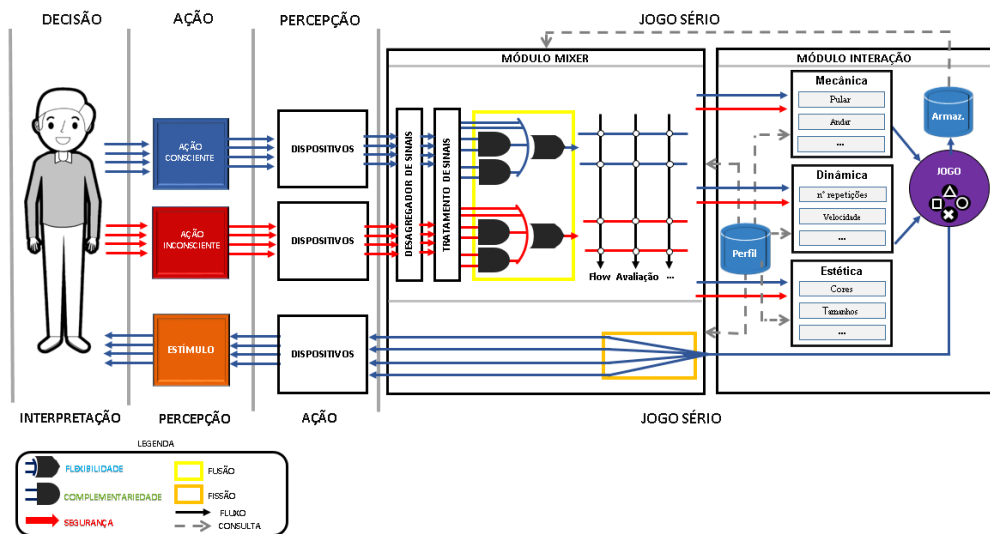


Fig. 1. Arquitetura 123-SGR.
Fonte: Elaborado pelos autores

ao JS *I Blue It* e seus focos de mensuração, que podem ser interpretados como captura de ações conscientes do jogador (Tabela II), ou de suas ações inconscientes (Tabela III). Os dispositivos para ações conscientes podem ser descritos como provedores de Flexibilidade ou de Complementariedade e os para captura de ações inconscientes podem ser descritos como possíveis provedores do aspecto de Segurança.

usuário; *Combinação 02*: Pode também estimar se um usuário está comandando o jogo através de respiração predominantemente diafragmática, e fornece a medida de pressão exercida pela musculatura respiratória do usuário; *Combinação 03*: Podem se complementar para determinar como a respiração está sendo realizada, mas sem determinar a força do fluxo respiratório, ou a pressão; dentre outras combinações possíveis.

TABELA II
RELAÇÃO ENTRE DISPOSITIVOS DIGITAIS E AÇÕES RESPIRATÓRIAS CONSCIENTES

Dispositivos	Ações Conscientes					
	Inspiração	Expiração	Duração	Volume	Força	Pressão
Pitaco	x	x	x	x		
Mano-BD	x	x	x			x
Cinta Extensora Torácica	x	x	x	x		
Cinta Extensora Abdominal	x	x	x	x		
Sensor Eletromiográfico	x	x	x		x	
Termistor Nasal	x	x	x			
Microfone	x	x	x			
Sensor de Umidade	x	x	x			
Peak-Flow		x			x	x
Powerbreath	x				x	x

TABELA III
RELAÇÃO ENTRE DISPOSITIVOS DIGITAIS E AÇÕES RESPIRATÓRIAS INCONSCIENTES

Dispositivos	Ações Inconscientes	
	Cansaço	Tontura
Oxímetro	x	x
Sensor Eletroencefalográfico	x	x
Sensor de Frequência Cardíaca	x	
Termômetro Corporal	x	
Impedância Cutânea (sudorese)	x	
Sensor de CO2		x
Sensor bioquímico de NO	x	

Algumas das possíveis combinações de modalidades para gerar Complementariedade são mostradas na Tabela IV. *Combinação 01*: Pode estimar se um usuário está comandando o jogo através de respiração predominantemente diafragmática e determina a força do fluxo respiratório do

TABELA IV
COMBINAÇÕES DE DISPOSITIVOS PARA COMPLEMENTARIEDADE.

Complementariedade (e)					
Dispositivos/Sensores	Inspiração	Expiração	Duração	Força	Pressão
Combinação 01					
Pneumotacógrafo (Pitaco)	x	x	x	x	
Cinta Extensora Torácica	x	x	x		
Cinta Extensora Abdominal	x	x	x		
Combinação 02					
Manovacúmetro (Mano-BD)	x	x	x		x
Cinta Extensora Torácica	x	x	x		
Cinta Extensora Abdominal	x	x	x		
Combinação 03					
Termistor Nasal	x	x	x		
Cinta Extensora Torácica	x	x	x		
Cinta Extensora Abdominal	x	x	x		

A Fig. 2 identifica o posicionamento no paciente, de alguns dos dispositivos selecionados que o JS *I Blue It* utiliza na sua versão multimodal, para o processo de reabilitação respiratória. O Pneumotacógrafo (Pitaco) OU o Manovacúmetro (Mano-BD) captura a respiração do paciente, enquanto a Cinta extensora Torácica serve como informação complementar, para mostrar se está sendo realizada respiração torácica, ou não, e, por fim, o Oxímetro aferirá fotoeletricamente a saturação do oxigênio do paciente, de modo a perceber níveis anômalos que possam provocar cansaço, ou tontura.

B. A Arquitetura 123-SGR aplicada ao JS *I Blue It*

As interações descritas aqui levaram em consideração apenas alguns dos dispositivos possíveis, sendo eles Pitaco (P);

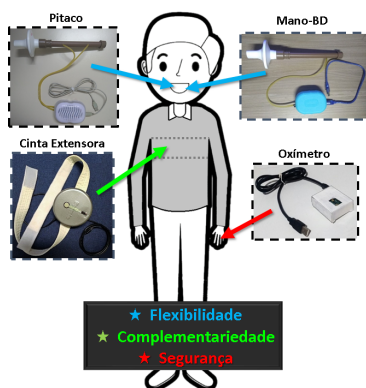


Fig. 2. Aplicação de multimodalidade no JS *I Blue It*.

Fonte: Elaborado pelos autores

Mano-BD (M); Cinta Extensora Torácica (C) e Oxímetro (O), os mesmos mostrados na Fig. 2. A seguir a descrição do Fluxo Consciente.

FLUXO CONSCIENTE:

- ⊗ *Decisão*: O jogador pensa em uma manobra respiratória para fazer o golfinho *Blue* subir, ou descer;
- ⊗ *Ação*: Executa esta manobra da forma desejada;
- ⊗ *Percepção*: A respiração é percebida pelo dispositivo P ou C ou M, ou ainda pela fusão P + C, ou M + C;
- ⊗ *I Blue It*: O jogo realiza a interpretação dos sinais e efetua as interações através dos módulos Mixer e Interação:

o Módulo Mixer:

- *Desagregador de Sinais*: No fluxo consciente, nenhum dos dispositivos exemplo geram um sinal com mais de uma informação, então o desagregador não é acionado.
- *Tratamento de Sinais*:
Entradas = «P» ou «C» ou «M»
Leituras geradas: 1/ms;
Amplificação: Não necessária;
Dado viável: Média entre cada 100 leituras (10/seg);
Uso no jogo: Parâmetros M, N e G, respectivamente (*default*: 64/min).
- *Fusão*: Recebe os sinais dos dispositivos e determina como cada um deles irá prosseguir. Se de forma complementar (um E outro), seguindo a lista de Complementariedades possíveis; de forma flexível (um OU outro), seguindo a lista de Flexibilidade, ou de forma direta (quando se dispõe de apenas um sinal). Ao terminar o tratamento dos sinais, os mesmos são enviados para o núcleo Grade de Adaptação.
- *Grade de Adaptação*: Este componente executará diferentes testes e ações de adaptação conforme a escolha de modalidades de entrada feita pelo usuário. Para entrada = P, ou = C, ou = M, caso o jogador perca um número de vezes seguidas (parâmetro W) os elementos “Dinâmica” e “Estética” juntos tornam alvos mais próximos e obstáculos menores (Dinâmica altera áreas

de colisão do personagem com os objetos e Estética altera visualmente o tamanho/altura dos objetos). Caso perca mais vezes, o elemento “Mecânica” solicita uma recalibração.

o Módulo Interação:

- *Mecânica*: Componente responsável por Subir/Descer o golfinho *Blue*;
- *Dinâmica*: É o componente responsável pelo cálculo dinâmico de *Score*, ou Solicitar a recalibração dos dispositivos;
- *Estética*: Componente responsável pela cor do *Blue*, a altura dos alvos e tamanho dos obstáculos;
- *Jogo*: Onde o jogo *I Blue It* recebe e aplica “Mecânica”, “Dinâmica” e “Estética”.
- *Armazenamento*: Os dados do jogo são armazenados, assim como os sinais colhidos pelos dispositivos, todos em registros separados por jogador, e cronologia.
- *Perfil*: O perfil neste fluxo serve de consulta para o componente “Mecânica”, e leva até ele as capacidades respiratórias de cada jogador, para cada dispositivo usado. Serve também de consulta para o componente “Dinâmica”, levando por exemplo a informação que diz se o jogador possui ou não um quadro de daltonismo, o que influenciará nas cores que o golfinho *Blue* poderá exibir.

O Fluxo Inconsciente para o JS *I Blue It* é descrito a seguir.

FLUXO INCONSCIENTE:

- ⊗ *Decisão*: Não existe decisão sendo tomada neste fluxo, então o estado de Decisão foi omitido;
- ⊗ *Ação*: Medida de oxigenação sanguínea do jogador;
- ⊗ *Percepção*: A saturação de oxigênio no sangue é percebida pelo dispositivo O;
- ⊗ *I Blue It*: A interpretação é feita através dos componentes abaixo:

o Módulo Mixer:

- *Desagregador de Sinais*: Um dispositivo que gera mais de uma informação em um único sinal no fluxo inconsciente é o oxímetro, o mesmo é composto da leitura da saturação arterial de oxigênio e da frequência cardíaca do seu usuário.
- *Tratamento de Sinais*:
Entrada = «O»
Leituras geradas: 1/30s;
Amplificação: Não necessária;
Dado viável: Média entre cada 3 leituras (1/90s);
Uso no jogo: Parâmetro O (*default*: 1/3min).
- *Grade de Adaptação*: Para entrada = O, o JS se adapta de acordo com a porcentagem de saturação do oxigênio do jogador, caso se encontre em uma faixa determinada (parâmetros E e F), a velocidade do jogo é decrescida e tem-se a possibilidade de acionar uma interrupção pedindo um intervalo de jogo, ou caso fique abaixo desta faixa, o jogo é interrompido (interrupção grave) para evitar implicações a saúde do jogador.

o Módulo Interação

- *Mecânica*: Componente responsável pela ação a ser executada, que aqui é gerar uma Interrupção, ou uma Interrupção Grave;
- *Dinâmica*: Neste fluxo, este é o núcleo responsável por alterar a velocidade do jogo;
- *Estética*: Não foram criadas alterações estéticas neste fluxo para o jogo *I Blue It*;
- *Jogo*: Onde o jogo *I Blue It* recebe e aplica os elementos dos três núcleos anteriores.
- *Armazenamento*: Os dados do jogo são armazenados, assim como os sinais colhidos pelos dispositivos, todos em registros separados por jogador, e cronologia.
- *Perfil*: O perfil neste fluxo auxilia o núcleo “Mecânica”, informando-o sobre algum agravante de perfil que faça com que as interrupções sejam disparadas antes que os limites parametrizados sejam atingidos.

O Fluxo de retorno é explicado a seguir.

FLUXO DE RETORNO:

⊗ *I Blue It*: Neste fluxo se encarrega da análise das ocorrências de jogo e do retorno ao jogador:

- o *Jogo*: Envia uma mensagem de resposta ao núcleo Fissão do módulo Mixer.
- o *Perfil*: Auxilia o módulo Mixer a enviar mensagens coerentes com o usuário, como por exemplo avisar que o usuário possui surdez e, por isto, o núcleo Fissão não deve enviar resposta em um canal de áudio.
- o *Módulo Mixer*: Aciona agora o seu terceiro núcleo, Fissão, acionado apenas no Fluxo de Retorno:
 - *Fissão*: Analisa a mensagem de retorno do núcleo Jogo, e entrega ao jogador através dos dispositivos disponíveis, como exemplo, um monitor e uma caixa de som.

⊗ *Ação*: A resposta computada é então passada através dos dispositivos selecionados;

⊗ *Percepção*: Os sentidos do jogador captam a resposta;

⊗ *Interpretação*: O jogador interpreta o que significou a resposta dada pelo jogo e o ciclo de interação se repete até o fim da execução do jogo.

C. Processo de Fusão para o *I Blue It*

Dentro do módulo *Mixer* existe o núcleo Fusão, que determina de que forma os sinais irão prosseguir, esta fusão pode ser feita em nível de sinais, ou em nível de função.

a) Fusão de Sinais

A fusão em nível de sinal é a fusão física, em que são feitas operações de agrupamento e se tem apenas um sinal como resultado. Como exemplo, na fusão de sinais do dispositivo Pitaco e da Cinta Extensora Torácica, que pode ser visualizada na Fig. 3, pode ocorrer o seguinte:

- 1) O sinal único do Pitaco aparece;
- 2) O sinal único da Cinta aparece;
- 3) É realizada a associação dos sinais de ambos, sendo que o sinal resultante é a junção de 75% do Pitaco

e 25% da Cinta Extensora Torácica, tornando o Pitaco o dispositivo preferencial (As porcentagens são parâmetros personalizáveis, os valores inseridos aqui são apenas para exemplificação).

- 4) É realizada a associação dos sinais de ambos, sendo que o sinal resultante é a junção de 25% do Pitaco e 75% da Cinta Extensora Torácica, tornando a Cinta o dispositivo preferencial (valores para exemplificação).
- 5) É feita a soma dos sinais, resultando em um sinal único e maior.
- 6) É feita a subtração do valor de sinal da Cinta do sinal do Pitaco.
- 7) É feita a subtração do valor de sinal do Pitaco do sinal da Cinta.
- 8) Por fim um mecanismo análogo a uma porta Ou Exclusivo (Porta Lógica) realiza a seleção entre todas as opções de fusão (1 a 7), para que apenas uma combinação prossiga para o próximo estágio da interação.

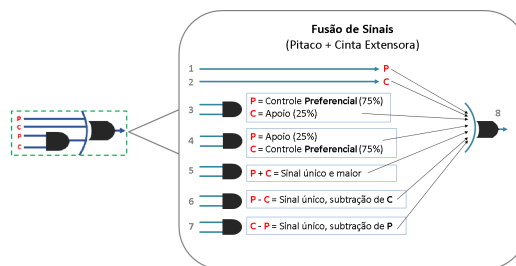


Fig. 3. Fusão de Sinais.

Fonte: Elaborado pelos autores

b) Fusão de Função

A fusão em nível de função é a fusão de tarefa, em que os sinais não são de fato unidos, apenas são encapsulados em um objeto temporal e desempenham diferentes papéis para se chegar a uma tarefa específica. Como exemplo, na fusão de função do dispositivo Pitaco e da Cinta Extensora Torácica ocorre o seguinte:

- Os sinais do Pitaco e da Cinta são encapsulados;
- Passam pelo Ou Exclusivo como apenas um objeto.

Fusão de Função é usada em algumas situações, descritas aqui como espacial e temporal.

A Fusão de Função espacial é a fusão em que cada sinal faz uma atividade totalmente distinta, mas em função de um propósito comum. Por exemplo, um objeto contendo dois sinais (P e C), sendo que P identifica em um determinado instante uma manobra de inspiração e neste mesmo instante C possui a informação da dilatação do tórax do jogador, formando uma medida da inspiração torácica. A Fusão de Função temporal é a fusão em que cada um dos sinais possui medidas complementares ao outro (Fig. 4), pois um deles pode ser considerado mais assertivo que o outro, por exemplo, na tarefa de identificar as nuances de uma manobra inspiratória, o outro sinal por sua vez

pode se mostrar melhor para mensurar uma manobra expiratória, sendo necessário desta forma utilizar cada um dos sinais para uma parte específica do ciclo respiratório. A Fusão de Função temporal é a fusão em que cada um dos sinais possui medidas complementares ao outro (Fig. 4), pois um deles pode ser considerado mais assertivo que o outro, por exemplo, na tarefa de identificar as nuances de uma manobra inspiratória, o outro sinal por sua vez pode se mostrar melhor para mensurar uma manobra expiratória, sendo necessário desta forma utilizar cada um dos sinais para uma parte específica do ciclo respiratório.

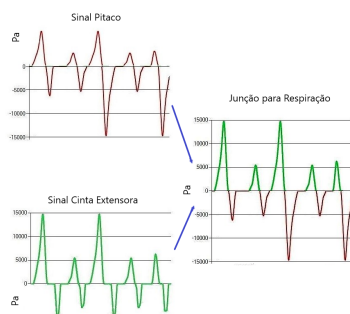


Fig. 4. Fusão de Função temporal.

Fonte: Elaborado pelos autores

D. Processo de Fissão para o *I Blue It*

Dentro do módulo Mixer existe o núcleo Fissão, que é acionado apenas quando o jogo deseja enviar um *feedback* ao jogador. Este *feedback* é disparado pelas mecânicas do jogo como uma mensagem e o núcleo divide a mensagem coerentemente em cada tipo de retorno solicitado na mensagem e envia cada fragmento para dispositivos específicos que entregarão cada uma das partes para o jogador, ex:

- Mensagem: O alvo foi atingido, mostre uma imagem do alvo sendo coletado e o som respectivo para alvos coletados.
- Retorno visual: A imagem do alvo coletado é enviada a um dispositivo visual de saída, como um monitor.
- Retorno sonoro: O som de alvo coletado é enviado para um dispositivo sonoro de saída, como uma caixa de som.

Além de retorno visual e sonoro existem outros tipos possíveis, como o tátil, que provoca algum estímulo físico no jogador (ex: toque e vibração), o retorno olfativo que reproduz odores e o retorno gustativo, que retorna um sabor. Este trabalho se limitará a respostas visuais e sonoras.

VI. RESULTADOS

Com a aplicação da arquitetura 123-SGR ao JS para reabilitação respiratória *I Blue It*, é visto que esta contemplou 8 dos 8 parâmetros de comparação entre arquiteturas (Tabela I) e gerou um JSM para a reabilitação respiratória com as funcionalidades de flexibilidade, complementariedade e segurança.

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho foi composto pela criação de uma arquitetura, a qual permite a criação/adaptação de JS com foco em reabilitação. A eficácia foi validada pela prova de conceito, em que foram acrescentados elementos de sistemas de interação multimodal ao JS *I Blue It*, permitindo agora que ele promova a reabilitação respiratória usufruindo das funcionalidades de flexibilidade, complementariedade e segurança.

Trabalhar com sistemas multimodais se mostrou um desafio, pois existem diversas possibilidades e variáveis a se entender antes de projetar um sistema deste tipo. O fato do *I Blue It* ser um jogo já pronto, que não foi projetado para ser multimodal desde o seu projeto, tornou a tarefa ainda mais difícil. Esta dificuldade deixa evidente que uma implementação que leve em conta a multimodalidade desde o começo é menos custosa que uma adaptação *a posteriori*. Mas, para isso é preciso um planejamento adequado e específico, o qual uma arquitetura como a 123-SGR passa a ser uma opção.

A arquitetura serve como um guia, um *checklist* de elementos a serem planejados e desenvolvidos, levando sempre em conta as necessidades do grupo foco da reabilitação. Fato importante a se salientar é que cada grupo (AVC, idosos, Síndrome de Down, etc), e cada tipo de reabilitação (motora, respiratória, voz, etc) tem suas particularidades e a arquitetura 123-SGR foi criada de modo a se ajustar, deixando espaço para que sejam escolhidos os dispositivos adequados, além de toda a parametrização dos limites de adaptação, que estão disponíveis para que um terapeuta personalize da melhor forma seu programa de tratamento.

Trabalhos futuros envolvem o uso da arquitetura 123-SGR para outros tipos de JS, bem como o estudo mais aprofundado do módulo *Mixer*, onde se acredita que técnicas de IA possam ser usadas para melhorar o acompanhamento da reabilitação e ajustar a dosimetria (tempo e duração da terapia).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES-Brasil) - Código de Financiamento 001 - pela bolsa de Mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) pelas bolsas de produtividade DT2 e PIBITI (Iniciação Tecnológica) e, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC-Brasil) pelo financiamento parcial ao laboratório LARVA, T.O. No.: 2019TR712.

REFERÊNCIAS

- [1] C. C. Abt, *Serious games*. Rowman & Littlefield, 1987.
- [2] D. Tolks, K. Dadaczynski, e D. Horstmann, "Einführung in die vergangenheit, gegenwart und zukunft von serious games (for health)," *Prävention und Gesundheitsförderung*, vol. 13, no. 4, pp. 272–279, 2018.
- [3] E. Boyle, T. M. Connolly, e T. Hainey, "The role of psychology in understanding the impact of computer games," *Entertainment Computing*, vol. 2, no. 2, pp. 69–74, 2011.
- [4] A. S. Lu e H. Kharrazi, "A state-of-the-art systematic content analysis of games for health," *Games for Health Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 1–15, 2018.

- [5] F. Noveletto, “Sistema biomédico para avaliação e reabilitação motora em hemiparéticos por AVC,” Tese de Doutorado, Doutorado Acadêmico em Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2018.
- [6] R. B. Schroeder, “Wobu-bubble-jogo sério para o equilíbrio dinâmico de pacientes com hemiparesia,” Dissertação de Mestrado, Mestrado em Computação Aplicada, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.
- [7] K. Saurav, A. Dash, D. Solanki, e U. Lahiri, “Design of a vr-based upper limb gross motor and fine motor task platform for post-stroke survivors,” em *Proceedings of the 2018 IEEE/ACIS 17th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 2018, pp. 252–257.
- [8] I. Carpinella, D. Cattaneo, G. Bonora, T. Bowman, L. Martina, A. Montesano, e M. Ferrarin, “Wearable sensor-based biofeedback training for balance and gait in parkinson disease: a pilot randomized controlled trial,” *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 98, no. 4, pp. 622–630, 2017.
- [9] I. L. Trevizan, T. D. Silva, H. Dawes, T. Massetti, T. B. Crocetta, F. M. Favero, A. S. B. Oliveira, L. V. de Araújo, A. C. C. Santos, L. C. de Abreu *et al.*, “Efficacy of different interaction devices using non-immersive virtual tasks in individuals with amyotrophic lateral sclerosis: a cross-sectional randomized trial,” *BMC neurology*, vol. 18, no. 1, p. 209, 2018.
- [10] A. Santos, V. Guimarães, N. Matos, J. Cevada, C. Ferreira, e I. Sousa, “Multi-sensor exercise-based interactive games for fall prevention and rehabilitation,” em *Proceedings of the 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2015, pp. 65–71.
- [11] Y. J. Gschwind, S. Eichberg, H. R. Marston, A. Ejupi, H. de Rosario, M. Kroll, M. Drobnics, J. Annegarn, R. Wieching, S. R. Lord *et al.*, “Ict-based system to predict and prevent falls (istoppfalls): study protocol for an international multicenter randomized controlled trial,” *BMC geriatrics*, vol. 14, no. 1, p. 91, 2014.
- [12] S. N. King, L. Davis, J. J. Lehman, e B. H. Ruddy, “A model for treating voice disorders in school-age children within a video gaming environment,” *Journal of Voice*, vol. 26, no. 5, pp. 656–663, 2012.
- [13] K. Kahol, “Integrative gaming: A framework for sustainable game-based diabetes management,” *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 293–300, 2011.
- [14] A. Alamri, M. M. Hassan, M. A. Hossain, M. Al-Qurishi, Y. Aldukhayyil, e M. S. Hossain, “Evaluating the impact of a cloud-based serious game on obese people,” *Computers in Human Behavior*, vol. 30, pp. 468–475, 2014.
- [15] M. Saleh, “Adaptive ubiquitous mobile gaming system for youth obesity rehabilitation,” em *Proceedings of the 2015 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, 2015, pp. 1–6.
- [16] P. M. Bingham, T. Lahiri, e T. Ashikaga, “Pilot trial of spirometer games for airway clearance practice in cystic fibrosis,” *Respiratory Care*, vol. 57, no. 8, pp. 1278–1284, 2012.
- [17] C. O’Donovan, P. Grealley, G. Canny, P. McNally, e J. Hussey, “Active video games as an exercise tool for children with cystic fibrosis,” *Journal of Cystic Fibrosis*, vol. 13, no. 3, pp. 341–346, 2014.
- [18] A. Oikonomou e D. Day, “Using serious games to motivate children with cystic fibrosis to engage with mucus clearance physiotherapy,” em *Proceedings of the 2012 Sixth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, 2012, pp. 34–39.
- [19] A. Parent, V. Gosselin-Boucher, M. Houle-Peloquin, C. Poirier, e A. Comtois, “Pilot project: Physiologic responses to a high-intensity active video game with copd patients—tools for home rehabilitation,” *The Clinical Respiratory Journal*, vol. 12, no. 5, pp. 1927–1936, 2018.
- [20] Y. Qin, C. J. Vincent, N. Bianchi-Berthouze, e Y. Shi, “Airflow: Designing immersive breathing training games for copd,” em *Proceedings of the CHI ’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2014, p. 2419–2424.
- [21] E. L. F. D. Gomes, C. R. F. Carvalho, F. S. Peixoto-Souza, E. F. Teixeira-Carvalho, J. F. B. Mendonça, R. Stirbulov, L. M. M. Sampaio, e D. Costa, “Active video game exercise training improves the clinical control of asthma in children: Randomized controlled trial,” *PLOS ONE*, vol. 10, no. 8, pp. 1–11, 2015.
- [22] R. Klaassen, R. Van Delden, M. Cabrita, e M. Tabak, “Airplay: Towards a ‘breathgiving’ approach,” em *Proceedings of the Behavior Change Support Systems: PERSUASIVE*, 2017, pp. 38–45.
- [23] S. J. Butler, A. L. Lee, R. S. Goldstein, e D. Brooks, “Active video games as a training tool for individuals with chronic respiratory diseases: A systematic review,” *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*, vol. 39, no. 2, pp. 85–90, 2019.
- [24] R. H. Grimes, “Um sistema biomédico com jogo sério e dispositivo especial para reabilitação respiratória,” Dissertação de Mestrado, Mestrado profissional em Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2018.
- [25] P. A. Rego, P. M. Moreira, e L. P. Reis, “Architecture for serious games in health rehabilitation,” em *New Perspectives in Information Systems and Technologies, Volume 2*. Springer Publishing Company, 2014, pp. 307–317.
- [26] L. M. Reeves, J. Lai, J. A. Larson, S. Oviatt, T. Balaji, S. Buisine, P. Collings, P. Cohen, B. Kraal, J. C. Martin *et al.*, “Guidelines for multimodal user interface design,” *Communications of the ACM*, vol. 47, no. 1, pp. 57–59, 2004.
- [27] J. Coutaz, L. Nigay, D. Salber, A. Blandford, J. May, e R. M. Young, “Four easy pieces for assessing the usability of multimodal interaction: the care properties,” em *Human—Computer Interaction*, 1995, pp. 115–120.
- [28] D. Sullivan, “What to know about hyperventilation: Causes and treatments,” Healthline, 2019.
- [29] D. A. Hackett e C.-M. Chow, “The valsava maneuver: Its effect on intra-abdominal pressure and safety issues during resistance exercise,” *The Journal of Strength & Conditioning Research*, vol. 27, no. 8, 2013.
- [30] R. Wardini, E. Dajczman, N. Yang, M. Baltzan, D. Préfontaine, M. Stathatos, H. Marciano, S. Watson, e N. Wolkove, “Using a virtual game system to innovate pulmonary rehabilitation: Safety, adherence and enjoyment in severe chronic obstructive pulmonary disease,” *Canadian Respiratory Journal*, vol. 20, p. 563861, 2013.
- [31] D. Tzovaras, *Multimodal user interfaces: from signals to interaction*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [32] B. Dumas, D. Lalanne, e S. Oviatt, “Multimodal interfaces: A survey of principles, models and frameworks,” em *Human machine interaction: research results of the MMI program*. Springer Publishing Company, 2009, vol. 5440, pp. 3–26.
- [33] J. T. C. Néry, Y. A. M. Henrique, M. da S. Hounsell, e A. Kemczinski, “Jogos sérios multimodais para a saúde: Um mapeamento sistemático da literatura,” *Proceedings of Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital - SBGames*, pp. 198–206, 2019.
- [34] M. M. Hassan, M. S. Hossain, A. Alamri, M. A. Hossain, M. Al-Qurishi, Y. Aldukhayyil, e D. T. Ahmed, “A cloud-based serious games framework for obesity,” em *Proceedings of the 1st ACM multimedia international workshop on Cloud-based multimedia applications and services for e-health*, 2012, pp. 15–20.
- [35] K. A. Al-Saud, M. Mahmuddin, e A. Mohamed, “Wireless body area sensor networks signal processing and communication framework: survey on sensing, communication technologies, delivery and feedback,” *Journal of Computer Science*, vol. 8, no. 1, pp. 121–132, 2012.
- [36] P. A. C. Sousa Rego, “Serious games for health rehabilitation,” Tese de Doutorado, Doutorado em Engenharia Informática, Universidade do Porto, 2017.
- [37] I. Afyouni, F. U. Rehman, A. Qamar, A. Ahmad, M. A. Rahman, S. Ghani, e S. Basalamah, “Gamifying hand physical therapy with intelligent 3d navigation,” *SIGSPATIAL Special*, vol. 8, no. 1, pp. 42–49, 2016.
- [38] Z. Wang, A. Parnandi, e R. Gutierrez-Osuna, “Biopad: Leveraging off-the-shelf video games for stress self-regulation,” *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 22, no. 1, pp. 47–55, 2017.
- [39] L. Lopez-Samaniego e B. Garcia-Zapirain, “A robot-based tool for physical and cognitive rehabilitation of elderly people using biofeedback,” *International journal of environmental research and public health*, vol. 13, no. 12, p. 1176, 2016.
- [40] A. Parnandi e R. Gutierrez-Osuna, “A comparative study of game mechanics and control laws for an adaptive physiological game,” *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 9, no. 1, pp. 31–42, 2015.
- [41] E. I. Konstantinidis, P. E. Antoniou, G. Bamparopoulos, e P. D. Bamidis, “A lightweight framework for transparent cross platform communication of controller data in ambient assisted living environments,” *Information Sciences*, vol. 300, pp. 124–139, 2015.
- [42] M. Ma e K. Bechkoum, “Serious games for movement therapy after stroke,” em *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2008, pp. 1872–1877.
- [43] R. Hunicke, M. LeBlanc, e R. Zubek, “Mda: A formal approach to game design and game research,” em *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, vol. 4, no. 1, 2004, p. 1722.
- [44] J. Schell, *The Art of Game Design: A book of lenses*. Morgan Kaufmann Publishers, 2008.