

Complexidade de Sensoriamento para Jogos Sérios do tipo Exergame para a área da Saúde

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

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

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

Resumo—A complexidade da respiração torna difícil o desenvolvimento de inovações terapêuticas tecnológicas, como os jogos sérios. Este artigo apresenta vários dispositivos que podem ser (e são) usados como entrada para um jogo sério. Essa variedade aponta uma questão de quais e como eles podem ser usados em um jogo sério. O artigo mostra como uma variedade de dispositivos úteis e de baixo custo podem ser integrados a um jogo sério voltado à terapia respiratória. Ele também apresenta o desenvolvimento de um dispositivo novo, e simulações da complementariedade que pode ser implementada um jogo sério real. A variedade de dispositivos mostra-se viável e necessária se várias terapias e disfunções respiratórias forem abordadas. No entanto, o jogo sério deve ser adequadamente projetado como um software multimodal para se beneficiar de tal quantidade de informações.

Palavras-Chave—exergames, e-Saúde, design de jogos, reabilitação respiratória, sensoriamento;

Abstract—The complexity of breathing makes it difficult to develop technological therapeutic innovations, such as serious games. This paper presents various devices that could be (and are) used as an input for a serious game. This variety poses a question of which and how they can be used in a serious game. The paper shows how an assortment of low cost and useful devices can be integrated to a serious game towards respiratory therapy. It also presents the development of a novel device, and simulations of the complementarity that can be implemented in an actual serious game. The variety of devices is shown to be feasible and necessary if various respiratory therapy and dysfunctions are targeted. Nevertheless, the serious game have to be properly designed as a multimodal software in order to benefit from such multitude of information.

Index Terms—exergames, ehealth, game design, respiratory rehabilitation, sensoring;

I. INTRODUÇÃO

Monitorar os sinais do corpo humano é essencial para a prevenção e tratamento de doenças respiratórias, e a complexidade do processo respiratório torna difícil a obtenção de informações, pois é importante considerar a sua abrangência, compondo boa parte da metade superior do corpo, e realizando funções vitais não apenas na respiração, mas também no movimento digestivo, na voz e na postura [1]. Além disso, a

respiração também afeta a oxigenação periférica, frequência cardíaca, temperatura corporal e o bem-estar geral do indivíduo [2].

Cada área do sistema respiratório necessita de diferentes formas de observação, e o sensoriamento das mesmas pode exigir coleta de dados regulares, através de um único sensor, ou dados complexos, mensurados através de dispositivos elaborados, mediante sinais biomédicos ou mecânicos [3]. Esta amplitude de informações abre também uma margem extensa de necessidades e oportunidade para uso de sistemas interativos. Uma forma de disponibilizar esta gama de informações é a partir de Jogos Sérios. Através deles é possível organizar as informações que devem ser observadas, criar casos de teste ou cenários de treino para reabilitação respiratória, além de possibilitar simulações realistas de diferentes ações do processo respiratório, contribuindo positivamente tanto na fisioterapia quanto no diagnóstico. Neste trabalho é apresentada uma aplicação, na forma de uma cinta extensora para um jogo sério ativo, o *I Blue It* [4].

II. SISTEMA RESPIRATÓRIO

A complexidade do sistema respiratório traz a possibilidade de captura de vários dados, para a criação de um sistema de monitoramento.

A. Doenças Pulmonares

Existem inúmeras doenças que afetam as capacidades pulmonares, elas são separadas em dois grandes grupos: as doenças pulmonares obstrutivas e doenças pulmonares restritivas. Ambos os tipos podem causar falta de ar, no entanto doenças pulmonares obstrutivas (como asma e distúrbio pulmonar obstrutivo crônico) são caracterizadas por afetar mais a capacidade de exalar o ar (expiração) e doenças pulmonares restritivas causam mais dificuldade de inalar o ar (inspiração) [5].

B. Reabilitação Respiratória

A Reabilitação Respiratória consiste em intervenção sobre pacientes com doenças respiratórias sintomáticas, com o objetivo de melhorar sua qualidade de vida, impedir o avanço da doença, aumentar a capacidade respiratória e reduzir índices de complicações provenientes da doença e até mortalidade, através de acompanhamento composto por profissionais de saúde de diversas áreas, como fisioterapeutas, enfermeiros, terapeutas respiratórios e médicos pneumologistas [2].

Esta intervenção é realizada de forma ativa. Então, há contra-indicação de uso, caso o paciente possua restrições cognitivas ou cardiorrespiratórias graves, principalmente quando envolvem a necessidade de imobilização do paciente para tratamento, como pacientes com pulmões colapsados, tuberculose grave ou estado terminal [6].

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Já foram mapeados anteriormente [4] diversos trabalhos que fazem uso de múltiplos sensores, em uso simultâneo ou separado por etapas, para a criação de jogos sérios para a reabilitação respiratória, onde os pacientes alvo possuem diferentes condições respiratórias. Além desta pesquisa, também foi possível resgatar outros trabalhos, que também compõem a lista de dispositivos a serem discutidos adiante. A Tabela I expõe a relação de sistemas que fazem uso de sensoriamento múltiplo para monitoramento de pacientes.

TABELA I
SISTEMAS COM SENSORIAMENTO MÚLTIPLO

Referência	Sensores Utilizados	Objetivo do Texto ou Terapia Respiratória Contemplada
[7]	Oxímetro, impedância cutânea, sensores acústicos, sensores de movimento,	Respiração diafragmática
[8]	Oxímetro, sensores de pressão, microfone, sensor de umidade, sensores piezoresistivos	Tecnologias de monitoramento e filtragem de sinais obtidos durante o processo respiratório
[9]	Oxímetro, monitor cardíaco	Fortalecimento da musculatura respiratória em portadores de síndrome de Down
[10]	Sensor de pressão diferencial	Aumento do fluxo expiratório, técnica de expiração lenta
[11]	Oxímetro, monitor cardíaco, sensor bioquímico de óxido nítrico	Aumento da capacidade respiratória, monitoramento da oxigenação sanguínea
[12]	Espirômetro, sensores de movimento, oxímetro	Monitoramento dos sinais vitais de pacientes com fibrose cística durante a prática de exergames
[13]	Oxímetro, termômetro, impedância cutânea, acelerômetro	Monitoramento dos sinais vitais de pacientes com fibrose cística durante a prática de exergames

IV. SENSORIAMENTO E A RESPIRAÇÃO

A variedade de técnicas para a reabilitação respiratória abre a possibilidade do desenvolvimento de diversos dispositivos que possam compreender todos os momentos do tratamento [14] [15]. Entretanto, apesar das potenciais restrições em relação ao ambiente no qual os sensores serão utilizados, como a necessidade da aplicação em ambiente hospitalar, acompanhado por um terapeuta ou médico, pode-se destacar que há a possibilidade de reprodução de resultados semelhantes a sensores de marcas tradicionais no mercado, a partir da

pesquisa e desenvolvimento de dispositivos que fazem uso de alternativas de sensoriamento mais baratas.

É possível criar uma associação entre as ações conscientes e inconscientes realizadas por um paciente durante o momento em que os sensores estão sendo utilizados. Define-se uma ação consciente de um paciente quando este cria conscientemente uma ação, e a executa, seguindo a interpretação passada pelo sistema, como por exemplo, um sopro em um dispositivo espirômetro, ou forçar o movimento torácico, para detecção dos sensores presentes em uma cinta extensora. A tabela II indica as ações conscientes em relação ao dispositivo utilizado.

TABELA II
RELAÇÃO ENTRE DISPOSITIVOS DIGITAIS E AÇÕES RESPIRATÓRIAS CONSCIENTES

Dispositivos	Ações Conscientes					
	Inspiração	Expiração	Duração	Volume	Força	Pressão
Pitaco (Pneumotacógrafo)	x	x	x	x		
Mano-BD (Manovacuômetro)	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

Já o movimento inconsciente é realizado pelo paciente de maneira involuntária, como uma reação decorrente de uma ação consciente, ou outra ação inconsciente. Apesar de possuir um comportamento similar, os sinais resultantes deste tipo de ação são provenientes de sensores específicos para a avaliação física. Na tabela III, são expostas as ações inconscientes quanto ao dispositivo empregado.

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 CO ₂		x
Sensor bioquímico de NO	x	

A complementariedade que os dispositivos podem gerar está atrelada aos arranjos de dispositivos. Tomando como exemplo o pneumotacógrafo, enquanto é possível ter a leitura das ações conscientes de inspiração, expiração, duração e força (ações conscientes), não é possível obter qualquer informação relevante sobre as ações inconscientes presentes no momento do uso, como o aumento ou diminuição da oxigenação sanguínea periférica, por exemplo. Desta forma, o uso deste equipamento pneumotacógrafo deveria ser suplementado com um oxímetro, pois sua funcionalidade é diretamente relacionada à eficácia respiratória.

V. APLICAÇÃO EM JOGO SÉRIO ATIVO

Jogos Sérios são jogos que, desde seu projeto, possuem propósito específico que vai além do simples entretenimento [16] [17].

I Blue It [4] é um jogo sério ativo para a reabilitação respiratória, tendo em sua proposta inicial o uso da espirometria de incentivo como controlador, utilizando um pneumotacógrafo (PITACO). Este dispositivo é construído com uma placa Arduino para o seu controle lógico e conexão do sensor de pressão diferencial ao computador. O paciente assume o papel do golfinho *Blue* (Fig. 1), utilizando movimentos de inspiração e expiração contínua para pontuar, através da captura de objetos e desviando de obstáculos. Estes são dispostos pelo cenário de maneira específica e proposital, para estimular diversos movimentos respiratórios e tornar viável uma análise crítica ao profissional responsável por aplicar o jogo durante a terapia.



Fig. 1. *I Blue It* - Sessão de jogo plataforma

O jogo também conta com minigames, de forma a tornar a sessão de jogo do paciente mais focada em algum determinado movimento, contando com uma partida mais rápida. Por fim, são disponibilizados módulos de calibração dos dispositivos, exigidos antes do acesso a qualquer jogo. Todos os valores obtidos, tanto nos jogos quanto na calibragem, são armazenados localmente no computador.

Originalmente, o jogo possuía apenas o dispositivo pneumotacógrafo para seu controle, o PITACO, mas este não era suficiente para atividades em que necessitava-se a disposição de movimentos mais forçados, e não era satisfatório o uso de um dispositivo no qual o esforço constante era uma característica forte, de forma em que a sessão de jogo, principalmente dos minigames, deveria ser reduzida. Além disso, a única forma de interação do jogo era direta, através do valor de leitura obtido pelo fluxo respiratório, captado pelo sensor de pressão utilizado.

A primeira proposta de extensão do jogo se deu na forma de um dispositivo híbrido [18], capaz de realizar espirometria e manovacuometria, de forma intercalada. Este dispositivo utiliza o mesmo sensor de pressão diferencial definido no Pitaco, apresentando algumas diferenças em sua construção, de forma a permitir a seleção física de uma de suas funções.

A segunda proposta para novo controlador foi o Manovacuômetro Bidirecional Digital, Mano-BD (manual de montagem disponível em <https://cutt.ly/7fF4pCs>). O dispositivo possui construção e design semelhante ao PITACO, com a diferença de utilizar um sensor de pressão absoluta para leitura de sinais. O Mano-BD mostrou-se uma alternativa eficiente ao Pitaco principalmente em relação aos minigames, pois foi

capaz de reduzir o tempo total de sessão, e promover terapia complementar.

Durante o desenvolvimento dos controladores do jogo, não havia sido abordada nenhuma forma de entrada de sinal que não exigisse a leitura direta do fluxo respiratório. Utilizar uma cinta extensora montada ao tórax (Fig. 2) foi possível graças a um resistor sensor de força (*Force-Sensing Resistor*), capaz de transformar a pressão aplicada em um determinado sinal, que é enviado à placa Arduino, filtrado de forma a suavizar a curva gerada pela respiração, e enviado ao jogo. Na implantação inicial, a cinta possibilitou o controle do jogo em seu formato plataforma, vide Fig. 3.



Fig. 2. Implementação física da cinta extensora

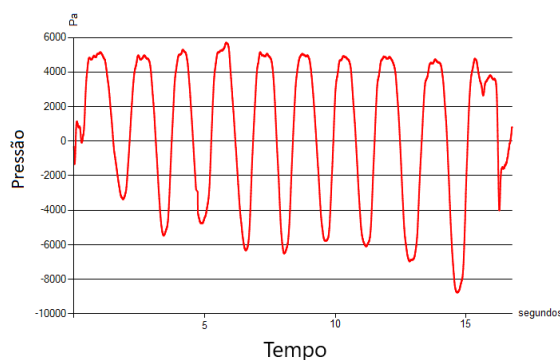


Fig. 3. Captura de fluxo gerado pela cinta extensora em posição torácica

A. Aplicação Multisensorial

Para que estes sensores possam trabalhar de maneira conjunta, é utilizado uma abordagem de sistema multimodal [19], que permite separar os dispositivos pelas suas propriedades e capacidades, em razão do mecanismo de fusão, capazes de aglomerar informações iguais ou distintas advindas dos dispositivos utilizados, e do mecanismo de fissão, que determina

as modalidades contendo as informações que levam a resposta desejada ao usuário.

Após testes do dispositivo Mano-BD em conjunto com a Cinta Extensora (Fig. 4), foi notável a complementariedade dos sinais obtidos. Assim, quando utilizados os dispositivos Cinta extensora e MANO-BD em conjunto, a leitura final transmitida ao jogo é resultado da correção dos sensores entre si, através da atribuição de leitura complementar. Na Fig. 4, a leitura positiva do MANO-BD (em verde) é complementada pelo sinal da cinta (em vermelho), e no eixo negativo, a leitura da cinta é complementada pelo sinal do manovacuômetro.

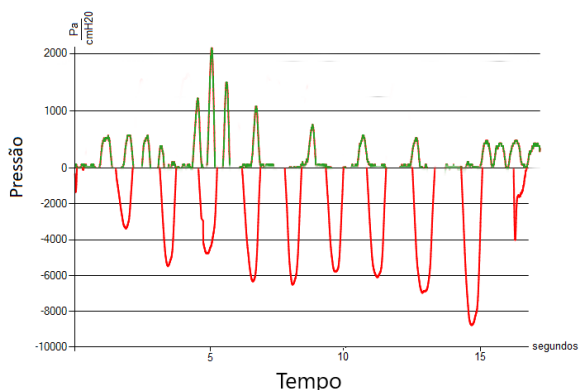


Fig. 4. Ilustração da mescla dos sinais gerados pelo Mano-BD junto à cinta extensora

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou como o sensoriamento de sinais pode ser complexo e variado para um jogo sério do tipo *exergame* voltado para a saúde, principalmente para a área da reabilitação respiratória. Foram estudados dispositivos relacionados e implementadas novas formas de controle de um jogo sério utilizando estes novos e variados dispositivos, onde todos os sensores utilizados possuíam foco na implementação com baixo custo. Este resultado possui impacto positivo inclusive na acessibilidade do jogo ao público, pois o custo de construção de cada dispositivo é diferente, porém é permitido ao usuário fazer uso do sistema mesmo que este não possua todos os equipamentos disponíveis simultaneamente.

É importante ressaltar que a coordenação de todos estes dispositivos sendo usados como controles de um jogo sério é complexa e a criação de uma arquitetura de software multimodal pode facilitar a criação de Jogos Sérios Multimodais focados na reabilitação da saúde.

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] J. S. Lowe e P. G. Anderson, *Stevens & Lowe's Human Histology E-Book: With STUDENT CONSULT Online Access*. Elsevier Health Sciences, 2014.
- [2] M. A. Spruit, S. J. Singh, C. Garvey, R. ZuWallack, L. Nici, C. Rochester, K. Hill, A. E. Holland, S. C. Lareau, W. D.-C. Man *et al.*, "An official american thoracic society/european respiratory society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation," *American journal of respiratory and critical care medicine*, vol. 188, no. 8, pp. e13–e64, 2013.
- [3] J. Heikenfeld, A. Jajack, J. Rogers, P. Gutruf, L. Tian, T. Pan, R. Li, M. Khine, J. Kim, e J. Wang, "Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects," *Lab on a Chip*, vol. 18, no. 2, pp. 217–248, 2018.
- [4] R. H. Grimes, "Um sistema biomédico com jogo sério e dispositivo especial para reabilitação respiratória," Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2018.
- [5] D. Leader, "Obstructive vs. restrictive lung diseases," *Verywell Health*, 2020.
- [6] M. M. Rus, *Manual de fisioterapia respiratoria*. Olalla Ediciones, 1996.
- [7] Y. Shiban, J. Diemer, J. Müller, J. Brütting-Schick, P. Pauli, e A. Mühlberger, "Diaphragmatic breathing during virtual reality exposure therapy for aviophobia: functional coping strategy or avoidance behavior? a pilot study," *BMC psychiatry*, vol. 17, no. 1, p. 29, 2017.
- [8] T. D. da Costa, M. d. F. F. Vara, C. S. Cristino, T. Z. Zanella, G. N. N. Neto, e P. Nohama, "Breathing monitoring and pattern recognition with wearable sensors," in *Wearable Devices-the Big Wave of Innovation*. IntechOpen, 2019.
- [9] S. A. Pereira, F. Lago, L. da Silva Melo, C. A. Moran, e M. P. Baroni, "Uso do nintendo® wii e adaptações cardiorrespiratórias agudas em uma criança com síndrome de down: relato de caso," *ASSOBRAFIR Ciência*, vol. 4, no. 3, pp. 45–50, 2014.
- [10] J. Ruminski, A. Bujnowski, e J. Wtorek, "Human-computer interactions in speech therapy using a blowing interface," in *7th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, 2014, pp. 178–181.
- [11] E. L. Gomes, C. R. 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, p. e0135433, 2015.
- [12] H. Holmes, J. Wood, S. Jenkins, P. Winship, D. Lunt, S. Bostock, e K. Hill, "Xbox kinect™ represents high intensity exercise for adults with cystic fibrosis," *Journal of Cystic Fibrosis*, vol. 12, no. 6, pp. 604–608, 2013.
- [13] S. S. Kuys, K. Hall, M. Peasey, M. Wood, R. Cobb, e S. C. Bell, "Gaming console exercise and cycle or treadmill exercise provide similar cardiovascular demand in adults with cystic fibrosis: a randomised cross-over trial," *Journal of physiotherapy*, vol. 57, no. 1, pp. 35–40, 2011.
- [14] P. S. Branco, S. Barata, J. Barbosa, M. Cantista, A. Lima, e J. Maia, *Temas de Reabilitação: Reabilitação Respiratória*. Medesign – Edições e Design de Comunicação, 2012.
- [15] A. Hristara-Papadopoulou, J. Tsanakas, G. Diomou, e O. Papadopoulou, "Current devices of respiratory physiotherapy," *Hippokratia*, vol. 12, no. 4, p. 211, 2008.
- [16] D. Djaouti, J. Alvarez, e J.-P. Jessel, "Classifying serious games: the g/p/s model," in *Handbook of research on improving learning and motivation through educational games: Multidisciplinary approaches*. IGI Global, 2011, pp. 118–136.
- [17] S. Blackman, "Serious games... and less!" *ACM Siggraph Computer Graphics*, vol. 39, no. 1, pp. 12–16, 2005.
- [18] Y. A. M. Henrique, J. T. C. Néry, e M. da S. Hounsell, "Desenvolvimento de dispositivo híbrido para jogo sério aplicado a saúde," *Anais do Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pp. 102–110, 2019.
- [19] J. T. C. Néry, Y. A. M. Henrique, e M. da S. Hounsell, "Jogos sérios multimodais para a saúde: Um mapeamento sistemático da literatura," *Anais do Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, 2020.