

## Desenvolvimento de Dispositivo Híbrido para Jogo Sérioso Aplicado a Saúde

Yuri Andreas May Henrique, Jhonatan Thallisson Cabral Néry, Marcelo da Silva Hounsell

DCC - Departamento de Ciência da Computação

PPGCA - Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville, Santa Catarina, Brasil.

m.yuri@outlook.com, jhonatanthallisson@gmail.com, marcelo.hounsell@udesc.br

**Resumo**—Este artigo tem como objetivo apresentar, dentre vários modelos de dispositivos para reabilitação respiratória, um equipamento incentivador manovacuômetro de pressão, e sua aplicação a partir da adaptação de jogos sérios, de forma a apresentar uma nova forma de interação com eles. É proposto um dispositivo híbrido, composto de pneumotacógrafo e manovacuômetro, de forma a ser usado como controlador no jogo sério "I Blue It". Os dados coletados, juntamente com a base teórica, mostram bom potencial de uso para um maior compromisso, tanto de profissionais quanto de pacientes, no uso da plataforma como reforço ao tratamento.

**Keywords**—jogos sérios; reabilitação respiratória; realidade virtual;

**Abstract**—This paper has as objective present, among many device models for respiratory rehabilitation, an encouraging pressure manovacuumeter equipment, and it's application through adaptation of serious games, in order to present a new way of interaction with them. It is proposed an hybrid device, composed by pneumotachograph and manovacuumeter, in order to be used as controller in the serious game "I Blue It". The collected data, along with theoretical basis, shows good use potential for larger commitment, both from professionals and patients, in use of the platform as reinforcement to the treatment.

**Keywords**—serious games; respiratory rehabilitation; virtual reality;

### I. INTRODUÇÃO

De acordo com a OPAS/OMS, as doenças respiratórias crônicas (DRC) são doenças tanto das vias aéreas superiores como das inferiores, e boa parte delas são preveníveis, como asma, rinite alérgica e as DPOC (doença pulmonar obstrutiva crônica), sendo um exemplo de DPOC a fibrose cística [1]. Elas representam um dos maiores problemas de saúde mundial, atrás apenas de infarto do miocárdio, câncer e doença cerebrovascular, sendo que as DRC são as únicas a aumentar, atingindo principalmente crianças e idosos, afetando também outros grupos, e é responsável por cerca de 7% da mortalidade global, além de causar impacto negativo direto na qualidade de vida do indivíduo, com reflexos sociais e econômicos[2].

No Brasil, entre 2000 e 2010, a DPOC foi a quinta maior causa de internação no SUS de pacientes com mais de 40 anos, com cerca de 200.000 hospitalizações e um gasto anual aproximado de 72 milhões de reais [4]. Além disso,

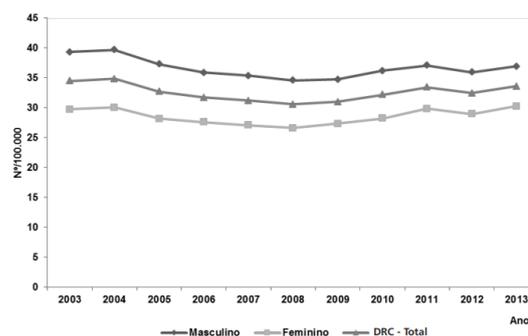


Figura 1. Mortes por DRC a cada 100 mil habitantes [3]

em áreas mais industrializadas, existe uma tendência maior ao aumento dos casos registrados de DPOC. De acordo com um estudo de avaliação espirométrica, foi detectada prevalência de distúrbio ventilatório obstrutivo entre 6 a 15,8% da base populacional na região metropolitana de São Paulo, e tamanha faixa é considerada pois na maioria dos casos, não havia diagnóstico prévio.

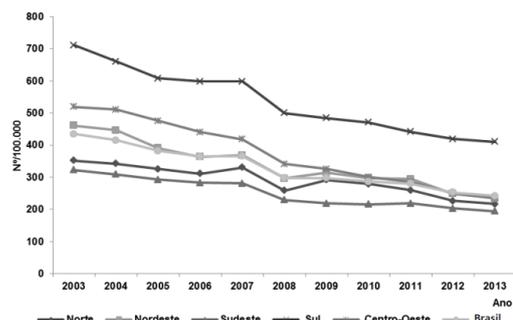


Figura 2. Internação devido a DRC por região no Brasil [3]

### II. JOGOS SÉRIOS

Segundo [5] e [6], Jogos Sérios (JS) utilizam abordagens da indústria dos jogos para torná-los mais atraentes, junto com a oferta de atividades que são utilizadas para um propósito específico, trazendo assim a ideia de entretenimento e ofertando certas experiências, como as voltadas

ao aprendizado ou treinamento. Assim sendo, é possível unir a terapia de um tratamento em reabilitação respiratória ao entretenimento que o jogo promove. Esta abordagem possui grande apelo no engajamento ao trabalho realizado, produzindo retorno visual ao paciente, de forma que este consegue compreender como a progressão de sua habilidade afeta a performance obtida no jogo, além da capacidade de retornar feedback personalizado ao especialista que o aplica.

Um modelo amplamente utilizado em pesquisas é o de JS do tipo exergame, voltados para incentivo de exercícios físicos, que realizam a captação de movimentos, na maioria dos jogos disponíveis no mercado, não convencionais. Como exemplos, existem controles com os pés (tapetes de dança), equilíbrio dos membros inferiores do corpo (prancha desenvolvida para uso junto ao JS Wobu-bble [7]), ou captação visual de movimentos corporais variados (Kinect™).

### III. REABILITAÇÃO RESPIRATÓRIA

A literatura provê uma série de abordagens para a prevenção e reabilitação de doenças do aparelho respiratório, consistindo do relacionamento entre o conhecimento já agregado da anatomia e cinesiologia do corpo humano, e técnicas fisioterapêuticas para readaptação ou fortalecimento de áreas corporais que possam contribuir com a mecânica respiratória.

Existem algumas restrições, no entanto, que tornam o tratamento inviável. Segundo [8], impossibilidades cognitivas ou psiquiátricas, doenças nas artérias pulmonares, tuberculose ou situação terminal do paciente são fatores de incapacitação quanto a promoção do tratamento ofertado pela fisioterapia, fator chave da intervenção por reabilitação respiratória.

Outro fator preocupante é a falta de motivação para a continuidade do tratamento assim que iniciado. É indicado em [9] uma taxa de abandono do tratamento, em uma faixa correspondente entre 20% a 30% dos pacientes, indicada nos estudos que aplicam os fatores preditivos do abandono do tratamento, onde dentre alguns dos fatores citados, constam a adesão a longo prazo e o custo financeiro total da reabilitação, custo este que não possui retorno efetivo ao paciente.

Portanto, o presente artigo objetiva mostrar uma iniciativa na forma de jogo sério para aumentar as opções de se prover reabilitação respiratória. Para tal, também será mostrado um dispositivo especial para a captura de informações da respiração de um indivíduo.

#### A. Avaliação da Condição do Paciente

Existem algumas formas de amostragem da condição respiratória do paciente citadas na literatura:

1) *Espirometria* [10]: Teste que mede o fluxo de ar pulmonar e trabalha com vários parâmetros, como capacidade vital, volume expiratório forçado e pico de fluxo. O resultado por paciente é comparado com o que já se é previsto por

população. Requer uma série de repetições do exercício, podendo levar a certa fadiga após o exame, além de exigir treinamento adequado do orientador durante sua aplicação.



Figura 3. Ilustração da Espirometria [11]

2) *Teste de Broncoprovocação* [12]: Exige a administração de medicamentos como o cloreto de metacolina ou manitol, de forma a induzir expectoração ou broncoconstrição, na qual se faz a medição das capacidades pulmonares em conjunto com a espirometria. Além do treinamento do administrador do teste, também é necessário que sua saúde pulmonar não seja comprometida, principalmente por asma, e também exige que o paciente suspenda boa parte de medicações, sejam elas controladas ou não.

3) *Teste de caminhada de seis minutos* [13]: Não trabalha com exatidão de medidas, possui maior abrangência ao incluir resultados dos sistemas neuromuscular, cardiovascular, respiratório e metabólico, através de um exercício de caminhada leve por uma superfície plana durante seis minutos, com o propósito de medir a capacidade de manutenção das tarefas que exigem exercícios diários.

#### B. Manovacuometria

Dentre as várias metodologias apresentadas por [14] para medição da força do aparelho respiratório, temos disposta a manovacuometria como método volitivo para medição da pressão expiratória máxima, considerado um método simples e rápido de realizar, com baixa complexidade e valores referenciais bem estabelecidos, e também da pressão inspiratória máxima.

1) *Pressão Expiratória Máxima*: A medida é feita através de um aparelho manovacuômetro, com o paciente sentado em ângulo de 90 graus, utilizando um clipe nasal. O paciente então deve realizar uma expiração máxima com esforço mantido entre 1 a 2 segundos, com repetição entre 3 a 8 vezes da manobra. O maior valor atestado durante o exame será considerado.



Figura 4. Manovacuômetro analógico e instrumentação utilizada [15]

2) *Pressão Inspiratória Máxima*: A medição deverá ser feita através de um aparelho manovacuômetro, de preferência digital, por se tratar de um dado que acontece durante um período breve de tempo, o qual pode ser perdido em um mostrador analógico. De forma análoga ao exame de pressão expiratória, o paciente deverá realizar inspiração máxima durante um período entre 1 a 2 segundos, também contando com 3 a 8 repetições da manobra.

Ambos os testes podem tomar como base os valores da capacidade pulmonar total (CPT) ou capacidade residual funcional.

### C. Dispositivos Utilizados Para Reabilitação Respiratória

Existe uma lista uma relação de dispositivos que podem ser usados para a reabilitação respiratória, de forma a oferecer incentivo à reabilitação respiratória, ou requisitando menor tempo de adesão ao tratamento [16]. Dentre estes vários dispositivos, o foco será dado aos que fazem intervenção direta nas vias respiratórias.

1) *Dispositivo de Pressão Expiratória Positiva (PEP)*: Aparelho consistindo de máscara ou bocal, com resistências expiratórias encaixáveis a um manômetro, entre o aparelho expiratório e a resistência, de forma a monitorar o valor da pressão exercida.

2) *Oscilador Oral de Alta Frequência (OOAF)*: Suplementa a ventilação a partir da geração de oscilações de alta frequência, utilizando um pistão ou diafragma, de forma a facilitar a ventilação de pacientes que sofrem de falhas respiratórias nas quais as formas tradicionais de intubação ou ventilação não são adequadas.

3) *Espirometria de Incentivo (EI)*: Provê informações do esforço no fluxo e volume inspiratório do paciente, de forma a aumentar a resistência pulmonar, melhorar a capacidade de expectoração e prevenir infecções respiratórias, principalmente após intervenção cirúrgica.

4) *Dispositivo Flutter*: Consiste em um tubo portátil com uma esfera de aço próxima à válvula de saída, que oscila durante a expiração, gerando vibrações controladas nas vias aéreas e facilitando a expectoração. Outro modelo semelhante é o dispositivo Acapella, que utiliza um contrapeso junto a um ímã para o fechamento da válvula de saída, possuindo vantagem quanto a dependência da posição da pessoa para o seu uso, visto que o dispositivo Flutter é dependente da gravidade para funcionamento adequado. Porém, é um aparelho pouco estudado na literatura.

5) *Dispositivo Corneta*: Consiste em um tubo semi-circular contendo uma mangueira flexível sem látex, no qual a expiração irá afrouxar gradativamente a mangueira, que então torna a apertar, causando pressão positiva oscilante.

## IV. I BLUE IT

O JS "I Blue It" [8] é um incentivador para o uso da técnica de espirometria de incentivo, utilizando a interface de um jogo, onde o jogador controla o golfinho Blue, em conjunto de um aparelho desenvolvido especificamente para ser seu controlador, o PITACO (apelido dado ao pneumotacógrafo de fluxo), no qual o ato de inspirar faz o golfinho submergir, e o ato de expirar realiza saltos. O cenário apresenta certos obstáculos, que devem ser evitados, e bônus, que devem ser alcançados. O avanço na performance permite que o jogador alcance níveis mais difíceis, sejam eles por possuírem obstáculos maiores ou trilhas de bônus mais longas e dispersas, que exigem maior controle do fluxo respiratório, além de mudanças na velocidade e tempo.



Figura 5. I Blue It - Tela do jogo principal

Para jogar, é necessário passar por um processo de calibragem, com módulos diferentes que são repetidos três vezes cada, visando obter as capacidades iniciais da respiração do paciente. As informações coletadas são de pico de fluxo expiratório, pico de fluxo inspiratório, manutenção do fluxo expiratório, manutenção do fluxo inspiratório e frequência respiratória basal. Assim que completa a calibragem, a plataforma libera o acesso ao jogo.

Em aspectos técnicos, o jogo foi desenvolvido utilizando a engine Unity, possuindo licença livre de uso para jogos sem fins lucrativos, e se valendo da linguagem C# para comunicação serial com um microcontrolador Arduino™.

A maneira na qual o jogo é produzido, junto com a liberdade de mudança e aprimoramento do código [8], permite que haja continuidade em seu desenvolvimento, seja com correções devido a possíveis problemas técnicos ou com implementação de novas funcionalidades, que é o caso.

Também é presente um processo detalhado de *game design* em sua criação, buscando interpretar e sintetizar formas de satisfazer as necessidades da equipe criadora com a população que irá fazer uso do sistema. Tudo isto para que haja, acima do que já foi teorizado, uma demonstração da motivação que torna toda a concepção do jogo um artefato útil, que possua valor científico, e que também possa agregar uma experiência de imersão virtual em sessão de jogo.

Durante esta experiência de *game design*, é importante ressaltar que surgiram certas condições para o funcionamento adequado do software e do dispositivo utilizado, para que haja confiabilidade nos dados e segurança durante seu uso.

#### Condições Obrigatórias

- 1) Auxiliar o Treinamento Muscular Respiratório;
- 2) Uso Ambulatorial;
- 3) Uso sempre acompanhado por um profissional;
- 4) Uso por crianças e adultos;
- 5) Uso individual (não colaborativo);
- 6) Flexibilidade para definir outros padrões respiratórios;
- 7) Personalizável por grupo populacional (crianças jogam de forma diferente do que adultos);
- 8) Jogo 2D é suficiente;
- 9) Deve armazenar dados;
- 10) Pontuação dirigida pelo processo terapêutico, há evolução durante a terapia.

#### Restrições

- 1) Não fadigar o paciente;
- 2) Não exigir esforços inadequados.

#### A. Minigames

Além do jogo base, que faz uso de diversas manobras respiratórias simultaneamente, o jogo conta com minigames que fazem uso delas separadamente, de forma a separar e polir informações sobre alguma disfunção referente ao tratamento em questão.

1) *Jogo do Bolo*: O jogo do bolo é um jogo focado em pico expiratório. Nele, o jogador deve realizar a manobra de expiração forçada (manobra de huffing), de forma a apagar as velas que estão acesas em cima de um bolo. É dado um temporizador de 10 segundos para que o jogador faça o movimento, de forma que é dado um *feedback* sonoro quando o movimento é realizado, de forma positiva, onde o jogador receberá sua pontuação. Caso não seja, o *feedback* será negativo, onde há falha na rodada, atribuindo zero a pontuação.

A pontuação é baseada no esforço referente à base calibrada, com valores entre zero e três estrelas para pouco ou máximo esforço, respectivamente. Esta pontuação possui uma visualização não somente na pontuação, mas na estética do jogo, de forma que as velas apagadas são correspondentes a pontuação obtida. Todas as pontuações agregadas do jogador são mostradas na tela no fim da sessão de jogo.

Para o profissional aplicando o minigame, existe a geração de uma tabela com todos os detalhes do movimento de expiração, desde o momento em que o jogador inicia o movimento até seu término, para uma análise mais robusta.



Figura 6. I Blue It - Tela do minigame "Jogo do Bolo"

2) *Jogo do Copo*: O jogo do copo possui foco no pico inspiratório. O jogador terá que realizar a manobra de inspiração forçada para beber a água no copo. A ideia neste jogo é que o dispositivo controlador sirva como um canudinho, de forma a criar imersão no jogo. Possui também um temporizador de 10 segundos para sua jogada, ao passo em que caso não tenha sido detectado seu movimento, há *feedback* sonoro de falha, e é atribuído zero a pontuação.

Caso haja esforço suficiente, haverá então o *feedback* sonoro positivo, e o jogador recebe sua pontuação. A pontuação, assim como no jogo do bolo, é baseada no esforço feito em razão à base calibrada, também variando de zero a três estrelas, e o acompanhamento de seu esforço é sintetizado em uma tabela, gerada durante a sessão de jogo. Todas as pontuações do jogador são mostradas na tela de final da sessão do minigame.



Figura 7. I Blue It - Tela do minigame "Jogo do Copo"

3) *Jogo das Frutas*: O jogo das frutas tem foco no ciclo respiratório, e este possui a característica de ter um controle

temporizador já em sua tela inicial. O jogador deve manter seu ciclo respiratório constante, de forma a capturar as frutas que aparecem na tela para obter pontos. As frutas representam qual o estado da respiração que a pessoa deve estar, e estarão sempre oscilando entre um estado e outro de forma síncrona.



Figura 8. I Blue It - Tela do minigame "Jogo das Frutas"

Atualmente estão sendo desenvolvidos mais jogos, com foco em tempo de expiração forçada e tempo de inspiração forçada. Sua criação, no entanto, está sendo feita de modo a ser compatível com o equipamento criado junto ao jogo e também com sua nova proposta de dispositivo.

Ainda estão em desenvolvimento os minigames com foco em tempo de fluxo expiratório e tempo de fluxo inspiratório. Para eles, estão sendo pesquisadas formas de menor esforço para o paciente no momento do jogo. Isto porque o dispositivo pneumotacógrafo já exigia certo esforço do jogador, que possuía como barreiras a capacidade pulmonar atual do indivíduo e o estrangulamento do próprio equipamento. Agora, como estamos trabalhando em conjunto à pressão, a barreira da força pulmonar passa a ser mais impactante na sessão de jogo.

Todos os jogos disponibilizados (I Blue It e minigames), além dos módulos de calibração, geram um arquivo *comma-separated value* para interpretação em aplicações que possam ler valores em tabela. O sistema organiza todas as informações da sessão de jogo, além do usuário, e estas informações são salvas dentro da pasta que o jogo está instalado.

O dispositivo manovacuômetro necessita de algumas mudanças dentro do código existente para a leitura e conversão do valor calculado pelos sensores para o jogo, e apesar de ser um processo mais prático para a pressão, mostrou-se complexo no fluxo respiratório. Isto porque o equipamento híbrido possui algumas diferenças em sua construção, que tornam algumas leituras diferentes em relação ao seu antecessor, além da questão levantada sobre mais esforço durante o jogo.

#### V. ARQUITETURA DO DISPOSITIVO CONTROLADOR

Para a utilização do JS I Blue It, é necessária a utilização de um equipamento especial, o qual se trata de um dispositivo para espirometria de incentivo. É possível obter

seu manual junto com o jogo em [17], onde no manual constam todas as especificações dos itens utilizados para a construção do equipamento pneumotacógrafo, especificações de hardware para uso da plataforma no sistema operacional, além de outras informações.

Este dispositivo, apelidado de PITACO, possui como características marcantes a facilidade de obtenção de seu equipamento (tubos e estrangulamentos de PVC, mangueiras de borracha), preço reduzido dos componentes e fácil configuração da comunicação do equipamento com o jogo, assim que montado.



Figura 9. Equipamento Pneumotacógrafo (PITACO)

De forma a ser utilizado como um dispositivo incentivador, uma das peças de maior importância é o sensor de pressão diferencial MPX5010DP, para fazer a medição de fluxo de ar dentro do equipamento. Com ele, é possível quantificar o volume que passa pelo equipamento, servindo assim como um pneumotacógrafo. A diferença é que nos modelos comuns de espirometria, o sensor está posicionado diretamente entre o bocal do equipamento e a passagem do fluxo, enquanto no PITACO ele é conectado em seu exterior.

Para o jogo base, o dispositivo cumpre de forma eficaz a forma na qual é utilizado. Entretanto, com maior aprofundamento nos estudos de todas as técnicas utilizadas para o lançamento do I Blue It, sejam essas relacionadas a reabilitação respiratória ou evolução de algum conceito dentro do jogo, viu-se a oportunidade de criar outro dispositivo que pudesse agregar maior usabilidade da plataforma.

Presente no jogo, por exemplo, temos a manobra de medição da pressão expiratória, que é feita a partir do processo de manovacuemetria, exigindo um equipamento manovacuômetro digital ou analógico. Neste caso, para uso

em conjunto com o JS, necessita-se do modelo digital. A problematização se encontra, da mesma forma que na idealização do PITACO, na dificuldade de obtenção do aparelho digital, devido ao seu alto preço, ultrapassando a faixa dos cinco mil reais em sua última pesquisa. Então a necessidade de criar nova abertura no modo como a plataforma é desenvolvida, de forma a permitir um equipamento que possua semelhanças com o modelo de interação já existente: baixo custo, código semelhante e interoperabilidade.

Como o código do jogo é aberto, e todo o equipamento pode ser adquirido facilmente, é possível dar continuidade a seu desenvolvimento, de forma a não desprezar nada do que já foi criado. Ainda, se possível, estender suas funcionalidades para além do equipamento já disponibilizado, a partir da criação de um novo, ou se possível, criar um equipamento diferente. Com este intuito, houve o interesse em criar uma forma de medir exclusivamente a pressão exercida pelo jogador durante sua sessão. O equipamento atual pode fazer a tarefa, a partir de adaptação, retirando-se a leitura do sensor de vácuo.

Assim, se é possível a adaptação do modelo já existente, é viável pensar em uma forma de unir as funcionalidades de leitura do fluxo e leitura da pressão, individualmente, sem remover o encapsulamento proposto pelo equipamento original. Surge assim a idealização de um dispositivo híbrido, que consiga adaptar a nova função com o mínimo de adaptações possíveis, e que seja possível escolher qual o uso que deve ser dado no momento da aplicação em jogo.

#### A. Adaptação para o Modelo Híbrido

Como o novo modelo é uma adaptação da proposta inicial, é importante levarmos em consideração que é necessário manter muitas características do dispositivo original, de forma a manter suas funcionalidades e não desprezar determinadas restrições. Um exemplo de restrição quanto ao novo modelo é, assim como o seu modelo predecessor, este também deve ser completamente desmontável e higienizável. Assim sendo, é preferível fazer uso dos mesmos tipos de material PVC já presentes no PITACO. A restrição de construção torna o equipamento mais genérico, mais fácil de se igualar um ao outro em razão de poucas diferenças na sua montagem.

Uma das adaptações feitas, entretanto, é quanto ao estrangulamento na ponta da luva. Como um dos focos do equipamento é medição da pressão, o espaço dele deve ser menor, de forma a não permitir passagem total do fluxo como no PITACO. A medição do fluxo será feita a partir da adaptação de uma estrutura no modelo original.

A listagem de todo o equipamento utilizado no desenvolvimento do dispositivo híbrido e visualizada na Figura 10 é dada por:

- 1x 10cm de Tubo PVC 20mm
- 1x 20cm de Tubo PVC 20mm
- 1x 40cm de Mangueira/Tubo Cirúrgica 5mm

- 1x 25cm de Mangueira/Tubo Cirúrgica 5mm
- 1x Luva de Redução PVC 32mm x 20mm
- Duas torneiras PVC
- Conexão T PVC de 20mm
- Plug com Rosca PVC 1/2"
- 3x Jumper Macho-Macho
- 1x Sensor de Pressão MPX5010DP
- 1x Pitch 2.54mm 6PIN
- 1x Microcontrolador Arduino Uno R3 com cabo USB

A conexão do novo material é feita onde estava posicionado o furo referente ao sensor de vácuo, e passará a ser controlado pelas torneiras da estrutura extra. As duas torneiras devem estar posicionadas igualmente para que seu correto funcionamento. Com as torneiras posicionadas verticalmente estará sendo medida a passagem de fluxo, a qual terá escape após a segunda torneira. Se as torneiras estiverem posicionadas horizontalmente, a passagem do fluxo estará fechada, e estará sendo medida a pressão exercida. Nas duas formas, é possível obter valores de inspiração e expiração. Sua construção final pode ser vista na Figura 11.

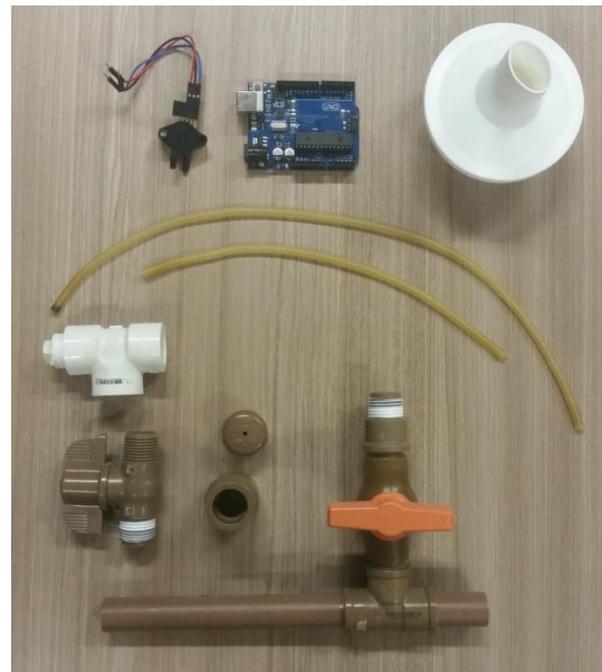


Figura 10. Equipamento Híbrido - Peças para Montagem

Por se tratar de uma construção maior, era visível a possibilidade do equipamento apresentar dados diferentes dos obtidos pelo PITACO. Tornou-se necessária uma série de testes, que pudesse verificar e quantificar a diferença entre os dados dos dois modelos. Como a comunicação entre o jogo e o equipamento é feita através de um dispositivo microcontrolador Arduino™, temos duas formas de medir os dados: Através de monitoramento serial na

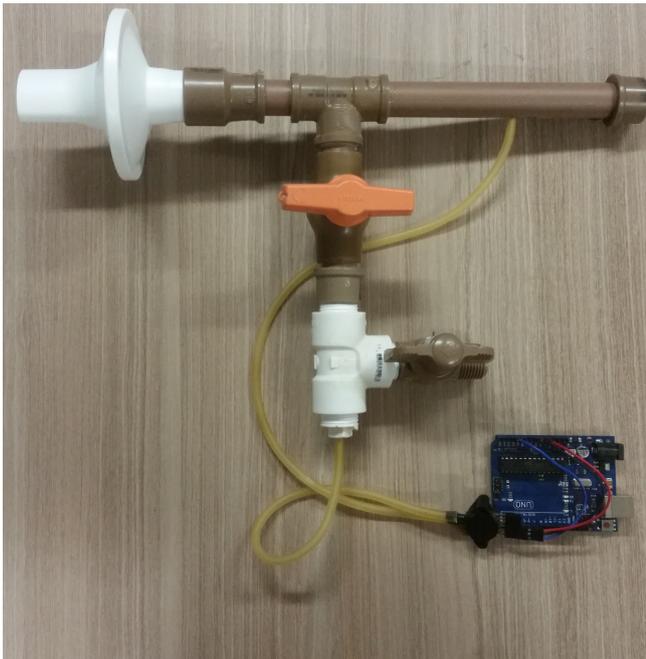


Figura 11. Equipamento Híbrido Completo

IDE do Arduino<sup>TM</sup>, e dentro do jogo, utilizando os próprios exercícios de calibração, com dados pré-estabelecidos.

O script original do JS provê funcionalidades para monitoramento serial dentro do ambiente de desenvolvimento na IDE Arduino. Assim, é possível monitorar o estado atual do sensor e diagnosticar certas falhas, servindo assim como uma forma de debug. Utilizando estas ferramentas, foi possível estabelecer os parâmetros de comparação nos testes dentro e fora do jogo, classificados em:

- Pico Expiratório
- Pico Inspiratório
- Tempo de Expiração
- Tempo de Inspiração

onde os dois primeiros nos dispõem da razão entre os valores provenientes dos dois equipamentos, e os últimos servem como parâmetros pela viabilidade de obtenção das pressões expiratória e inspiratória máximas.

### B. Testes e Comparação de Valores

Os testes de comparação foram inicialmente aplicados no monitor serial disponível na IDE Arduino, através dos comandos do script de leitura do sensor de pressão. Como a versão original não possui uma função para cronometrar o tempo de leitura, foi implementado um protótipo que conta o tempo entre a inicialização e o fim do teste.

Além disso, para o teste foi utilizado um mesmo indivíduo (saudável), com várias sessões em intervalos de tempo aleatório entre os testes.

Os resultados de saída obtidos mostraram que o equipamento híbrido, em função de fluxo, possui uma faixa de valores 4.5 vezes maior que o equipamento original. Entretanto, no modo de pressão do equipamento híbrido, os valores se tornaram muito mais altos, e com inversão de valor da leitura, podendo dar margem a má interpretação (troca de inspiração por expiração).

Isto mostrou uma necessidade de modificar como o sistema iria receber os dados a partir do momento em que houvesse a troca das funções, afinal não há forma de identificar quando o usuário mudou de pressão para fluxo e vice-versa, visto que as funções são físicas e sem qualquer eletrônica acoplada a elas. Assim, foi lançada a ideia de uma tela para seleção de equipamento em determinados jogos, que ainda está em desenvolvimento.

A partir dos testes dentro do sistema, ficou mais clara a diferença entre os controladores, e da necessidade de uma seleção do que se está usando no momento como dispositivo de entrada. O equipamento híbrido, nos dois modos, é capaz de manter a jogabilidade no jogo base I Blue It, porém precisa de certos ajustes nos minigames, visto seu foco em métricas isoladas. Isto porque os valores de pressão possuem uma margem muito maior, passando do *threshold* habilitado na plataforma.

### C. Avaliação Clínica

O uso do manovacuômetro na plataforma vai além de ser um adicional ao que já existe, visto que existe a busca da complementaridade dos dados fornecidos ao especialista que está a aplicar o tratamento de reabilitação respiratória através do incentivo do JS.

O pneumotacógrafo possui a função de agregar dados a partir de longos períodos de tratamento, tornando-o atrativo para especialistas fisioterapeutas, com a pretensão de manter uma curva de desenvolvimento do aparelho respiratório do paciente durante uma faixa de tempo considerável. Isto porque com a atividade de espirometria de incentivo, é visado o fortalecimento do aparelho respiratório do indivíduo. Para tal, é necessária supervisão e acompanhamento durante longos períodos de tempo, de acordo com as necessidades e gravidade da situação enfrentada pela pessoa durante todo o processo de reabilitação respiratória.

Então, temos o ponto de inserção da complementaridade que não era tão visível, que se mostra na possibilidade de prover diagnóstico aos médicos que fazem parte do tratamento, através da manovacuemetría. A viabilidade de participação de um médico ou equipe torna-se cada vez menos viável a partir de períodos mais extensos de reabilitação respiratória, visto que sua participação não é tão efetiva quanto a fisioterapia já provida, ainda mais quando há a falta de diagnósticos mais precisos.

O manovacuômetro, por sua vez, possui utilidade em agregar dados de forma mais dinâmica, em um espaço de tempo muito menor, observando que, na própria forma com

a qual a manovacuometria é feita, os resultados já são mais concretos, demonstrando a realidade do paciente, e assim, capazes de prover diagnósticos confiáveis. Assim, são necessários poucos encontros, em intervalos de tempo mais bem definidos, nos quais é possível obter valores mais substanciais quanto as condições respiratórias atuais do paciente.

Promovendo essa complementaridade, a evolução da reabilitação respiratória pode ser avaliada por mais profissionais, com maior disponibilidade de dados e de forma mais dinâmica, sem a necessidade de acompanhamento restrito por longos períodos pelos médicos envolvidos.

## VI. CONCLUSÃO

Visando a complementaridade do processo de reabilitação respiratória, a manovacuometria provê maior participação profissional na evolução da condição de saúde do paciente, e sua inserção como incentivador dentro da plataforma I Blue It possui bom potencial, tanto para tornar a experiência de jogo menos genérica a partir de uma nova forma de interação, quanto para disponibilização e polimento de dados de acordo com a necessidade dos profissionais encarregados pela sua supervisão.

Com o que se foi observado, é possível utilizar o incentivo proposto da manovacuometria para maior abrangência dos dados a serem observados, pois o objetivo de tornar o uso da plataforma mais dinâmico a partir da inclusão de sessões mais breves de jogo foi alcançado, contando com as informações que já eram possíveis a partir do equipamento pneumotacógrafo, de forma que não há perda da fidelidade destas informações a partir da implementação híbrida, e adicionando também as informações possíveis com o modo de manovacuometria adaptado. Isto mostra a versatilidade na qual o aparelho pode ser utilizado, de acordo com as capacidades respiratórias de cada indivíduo submetido ao jogo. Outro aspecto importante é, a incorporação do equipamento em ambiente de terapia contínua possuindo custo baixo, assim como era um benefício já mostrado no outro sistema. Isto porque as peças continuam sendo de fácil obtenção, tornando sua manutenção fácil e barata, o que torna a plataforma um acervo disponível para prazos indeterminados de uso.

Algumas das limitações visíveis são, por exemplo, a necessidade de facilitação da implementação, pois exige mais peças e, assim como o dispositivo pneumotacógrafo, deve ser montado de forma que não haja escape da parte interna do equipamento para o ambiente, o que resulta em perda de informações. Além disso, existe a necessidade de verificação constante de como o paciente está na sessão de jogo, de forma que não esteja se esforçando demais, havendo então o acompanhamento restrito de pelo menos um profissional em toda a sessão de jogo. Por fim, existe a necessidade da instalação de uma IDE para a configuração da conexão entre o microcontrolador e o jogo, já existente

também na sua versão anterior. Apesar de exigir pouco conhecimento, ainda mostra-se um processo que dificulta a adesão de novos usuários.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pela bolsa de Mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) pela bolsa produtividade DT2 e pela bolsa PIBITI, à FAPESC T.O. No.: 2019TR712 e à UDESC, pelo apoio financeiro parcial.

## REFERÊNCIAS

- [1] E. d. F. Andrade, F. A. d. Abreu e Silva, M. Barreto, e S. Saldanha, “Avaliação evolutiva da espirometria na fibrose cística,” *Jornal de pneumologia. Brasília. Vol. 27, n. 3 (maio/jun. 2001)*, p. 130-136, 2001.
- [2] W. H. Organization *et al.*, “Global alliance against chronic respiratory diseases (gard): 5th [fifth] general meeting, 1-2 june 2010, toronto, canada,” 2011.
- [3] Ministério da Saúde, “Doença pulmonar obstrutiva crônica,” 2013, disponível em <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2014/abril/02/pcdt-doenca-pulmonar-obs-chronica-livro-2013.pdf>, acesso em: 18 de Junho de 2019.
- [4] C. A. d. Sousa, C. L. G. César, M. B. d. A. Barros, L. Carandina, M. Goldbaum, e J. C. R. Pereira, “Doença pulmonar obstrutiva crônica e fatores associados em são paulo, sp, 2008-2009,” *Revista de Saúde Pública*, vol. 45, pp. 887–896, 2011.
- [5] S. Blackman, “Serious games... and less!” *ACM Siggraph Computer Graphics*, vol. 39, no. 1, pp. 12–16, 2005.
- [6] J. Alvarez, D. Djaouti *et al.*, “An introduction to serious game definitions and concepts,” *Serious Games & Simulation for Risks Management*, vol. 11, pp. 11–15, 2011.
- [7] R. B. Schroeder, “Wobu-bubble-jogo sério para o equilíbrio dinâmico de pacientes com hemiparesia,” Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.
- [8] R. 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.
- [9] A. Girdhar, P. Agarwal, e A. Singh, “Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease,” em *A Current Conspectus of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. IntechOpen, 2018.
- [10] A. S. Rubin, C. Pereira, J. Neder, J. Fiterman, e M. Pizzichini, “Hiperresponsividade brônquica,” *J Pneumol*, vol. 28, no. Suppl 3, pp. S101–S121, 2002.

- [11] P. S. Branco, S. Barata, J. Barbosa, M. Cantista, A. Lima, e J. Maia, “Temas de reabilitação–reabilitação respiratória,” *Porto: Servier*, 2012.
- [12] A. Souza e C. A. Pereira, “Testes de broncoprovocação com metacolina e com exercício em bicicleta e corrida livre em crianças com asma intermitente,” *J Pediatr*, vol. 81, no. 1, pp. 65–72, 2005.
- [13] P. L. Gontijo, T. P. Lima, T. R. Costa, E. P. dos Reis, F. P. de Faria Cardoso, e F. F. C. Neto, “Correlação da espirometria com o teste de caminhada de seis minutos em eutróficos e obesos,” *Revista da Associação Médica Brasileira*, vol. 57, no. 4, pp. 387–393, 2011.
- [14] P. Caruso, A. L. P. de Albuquerque, P. V. Santana, L. Z. Cardenas, J. G. Ferreira, E. Prina, P. F. Trevizan, M. C. Pereira, V. Iamonti, R. Pletsch *et al.*, “Métodos diagnósticos para avaliação da força muscular inspiratória e expiratória,” *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, vol. 41, no. 2, pp. 110–123, 2015.
- [15] R. M. G. dos Santos, B. V. Pessoa-Santos, I. M. M. dos Reis, I. G. Labadessa, e M. Jamami, “Manovacuometria realizada por meio de traqueias de diferentes comprimentos,” *Fisioterapia e Pesquisa*, vol. 24, no. 1, pp. 9–14, 2017.
- [16] A. Hristara-Papadopoulou, J. Tsanakas, G. Diomou, e O. Papadopoulou, “Current devices of respiratory physiotherapy,” *Hippokratia*, vol. 12, no. 4, p. 211, 2008.
- [17] R. Grimes, “I blue it,” disponível em <https://huenato.github.io/IBLUEIT/>, acesso em: 01 de Julho de 2019.