

PhysioPong: *Serious Game* Aplicado ao Processo de Reabilitação Física de Amputados de Membro Superior

Bryan Teixeira Paiva
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
bryanpaiva20@gmail.com

Jone Follmann
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
jone.follmann.ipo@gmail.com

Érico Marcelo Hoff do Amaral
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
ericoamaral@unipampa.edu.br

Julio Domingues Saraçol Júnior
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
juliodomingues@unipampa.edu.br

ABSTRACT

The present study describes the proposal a solution computing based on the context of the *Serious Game*, to support in the process of physical rehabilitation of patients amputees of upper limbs. Therefore, when we developed a serious game *PhysioPong*, we expect that the proposal serves as a training tool, integrated into the technical monitoring of electromyography signal to assist in the early stages of the rehabilitation process of these patients. This training as physically strengthens the muscles so that they can later be protected, as well as provide the patient with a motivator environment for the treatment. Furthermore, another tool functionality is to create an environment for physical therapists to follow the progress of these individuals over the rehabilitation process. Nowadays, serious games have had been employed as a tool that can be used for several purposes, bringing a ludic experience of the players. The *PhysioPong* was developed by using the Unity game engine, combined with a sensor node module that aims to collect data from the myoelectric signals generates by a muscular contraction of an individual, being possible to perform actions in a game. To further measure the present purpose have been performing a usability test, furthermore scientific experiments with amputees patients. These experiments were carried together by physiotherapists of the physic rehabilitation service. The evaluation performed about the tool indicated promising results with a usability and mechanic appropriated, basing the use of *PhysioPong*.

KEYWORDS

Jogos Sérios, Reabilitação, Amputados, Eletromiografia

1 INTRODUÇÃO

O crescimento tecnológico nos diversos ramos da ciência é evidente, entretanto, merece ainda mais destaque a área da saúde, a qual tem sido alvo de diversas pesquisas nos últimos anos. A computação tem auxiliado os profissionais tanto no diagnóstico e na intervenção adequada, quanto na reabilitação física de pacientes [1]. De acordo com [2], a reabilitação física é um procedimento que exige o conhecimento sobre a enfermidade a ser tratada e as deficiências causadas no movimento. A cada dia, torna-se mais evidente a necessidade de embasamento científico sobre o corpo humano e as suas respostas fisiológicas para uma consistente tomada de decisão, visando a recuperação das funções motoras, prevenindo ou reduzindo riscos de novas lesões.

Nesse sentido, a fim de buscar a reabilitação após a amputação, muitos indivíduos passam por tratamentos, porém, a continuidade do processo de reabilitação é fundamental para haver resultados satisfatórios que, é muito influenciada pela atitude e motivação do indivíduo ao tratamento [3]. Além disso, segundo [4], a pouca motivação gerada pelos métodos tradicionais de reabilitação é um dos principais motivos de abandono do tratamento fisioterápico, devido ao fato da reabilitação convencional de amputados ser muitas vezes um processo lento, repetitivo e doloroso.

Visto a necessidade de encontrar estratégias motivadoras para viabilizar a continuidade dos tratamentos destes pacientes, [5] ressalta que os jogos digitais vêm se destacando nesta nova aplicação. Desta forma, além de propiciar a melhora na motivação para o tratamento, também diminuem o tempo de reabilitação dos indivíduos [6]. Segundo [7], a combinação entre estes aspectos lúdicos que visam propósitos específicos e intencionais, são conhecidos como jogos sérios.

Reconhecendo o contexto apresentado, o objetivo desta pesquisa é desenvolver uma solução computacional, integrada a hardware e software, que deverá possibilitar o tratamento de indivíduos amputados de membro superior, viabilizando uma estratégia motivadora para a continuidade do tratamento, além de auxiliar profissionais de fisioterapia na avaliação destes resultados com um sistema de baixo custo.

O presente documento está estruturado em seis seções, sendo que na seção um foi apresentado a introdução, contendo o problema de pesquisa e os objetivos. A metodologia de construção do trabalho no capítulo dois. O referencial teórico no capítulo três. No capítulo quatro a descrição da solução proposta, juntamente com os experimentos realizados. Resultados e discussões no capítulo cinco, e por fim, considerações finais no capítulo seis. Além destes, possui uma seção de referências bibliográficas.

2 METODOLOGIA

A fim de determinar uma sequência de atividades bem definidas, foi estabelecida uma metodologia de pesquisa seguida durante todo o processo de execução do projeto. Assim sendo, esta pesquisa pode ser caracterizada como aplicada, visto que pretende gerar conhecimento válido e aplicável, buscando solucionar um problema específico [8]. A forma de abordagem da pesquisa pode ser classificada como quali-quantitativa, considerando que alguns elementos podem ser abordados em forma de números e requerem uso de recursos estatísticos, ao mesmo tempo, outros aspectos possuem uma avaliação subjetiva [9].

Com relação aos objetivos, pode ser considerada exploratória, visto o fato de obter uma maior familiaridade com o tema proposto [10]. Em relação aos procedimentos técnicos, a construção da pesquisa pode ser realizada a partir de materiais documentados e através de entrevistas com profissionais familiarizados com o problema levantado [11]. Assim sendo, este estudo está constituído sobre um conjunto de etapas previamente definidas, com o intuito de atender como resposta efetiva às demandas do problema de pesquisa levantado, conforme apresenta a Figura 1.

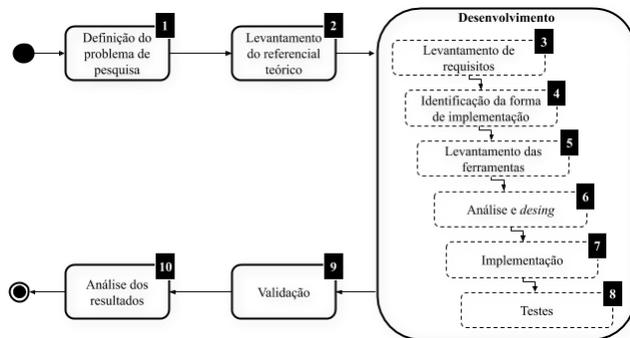


Figure 1: Diagrama da metodologia.

Desta forma, inicialmente foi definido o problema de pesquisa, na qual se estruturou através das necessidades de soluções computacionais efetivas para tratamento amputados de membro superior. A segunda etapa consistiu no levantamento do referencial teórico, de modo a obter uma base de conhecimento sobre o problema.

Em seguida, foi executado um levantamento de requisitos em conjunto com os usuários da solução. Nesta etapa inicia-se a utilização do método de desenvolvimento de jogos *Game Unified Process* (GUP). O GUP foi um modelo desenvolvido em 2003 pelo gerente de projetos de jogos Kevin Flood, com o intuito de unir características presentes no RUP (*Rational Unified Process*) e no XP (*Extreme Programming*) [12].

Fundamentado nos requisitos levantados, a quarta etapa consistiu na identificação da forma de implementação que, compreende em um protótipo integrando *hardware* e *software*. Em seguida, na quinta etapa foi realizada uma busca pelas tecnologias a serem utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta. A sexta etapa se embasou na análise dos requisitos para delinear o *desing* do jogo proposto, recorrendo a *Unified Modeling Language* (UML) para análise e modelagem do sistema.

Posteriormente, iniciou-se a implementação da solução de acordo os requisitos e as tecnologias elencadas anteriormente. Nesta etapa, também iniciou-se a escrita do *Game Desing Document* (GDD) que, contém toda documentação pertinente ao jogo. A oitava etapa consistiu na realização de testes a fim de verificar o correto funcionamento da solução do ponto de vista técnico. Durante a nona etapa, foi definido um grupo de pacientes selecionados por fisioterapeutas para realização de experimentos e validação da proposta. Por fim, na última etapa, foi efetuado a análise e discussão dos resultados obtidos na etapa anterior, com a intenção de avaliar o protótipo desenvolvido.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados alguns conceitos relevantes acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, é apresentada uma fundamentação teórica sobre: procedimentos de amputação e de protetização, fundamentos do processo de reabilitação física, computação aplicada a saúde, e por fim, conceitos que envolvem os jogos sérios.

3.1 A amputação: definição e causas

De acordo com [13], a amputação é caracterizada pela retirada parcial ou total de algum membro, no qual é apontada como um processo reconstrutivo de uma extremidade com funções limitadas ou sem função, sendo que este membro residual é denominado coto, o qual agora é considerado um novo membro. A amputação tem como objetivo retirar o membro acometido e criar perspectivas para a melhora da função amputada, sendo considerado este um método de tratamento de diversas doenças.

Entre as principais causas de amputações, pode-se destacar as infecções, tumores, traumas, doenças vasculares periféricas e diabetes [14, 15]. Os objetivos imediatos da amputação são: alívio da dor, remoção do tecido morto ou doente, execução de uma cirurgia que permita a cicatrização de ferida e a preparação do coto para protetização que irá permitir a realização do uso funcional do membro amputado [16].

Atualmente, devido ao pequeno número de informações sobre o tema em países pouco desenvolvidos, existe uma grande dificuldade de mensuração de números precisos que indiquem a quantidade de amputados entre a população mundial. Porém, em 2008 a população mundial era cerca de 6,7 bilhões, no qual se avalia que a ocorrência de amputações era de 1,5 a cada 1000 pessoas.

3.2 Processo de reabilitação

Segundo o Ministério da Saúde, a amputação deve ser sempre vista dentro de um contexto geral de tratamento e não como uma única parte, cujo intuito é prover a melhora da qualidade de vida do paciente. Para [17] e [18], os objetivos de um programa de reabilitação para amputados consistem em proporcionar ao paciente o desenvolvimento de habilidades do maior número de atividades possíveis sem a necessidade de usar uma prótese, desenvolver exercícios a fim propiciar ao amputado independência funcional, melhora na resistência muscular, no equilíbrio, na coordenação de movimento, como também, preparar o coto para que possa ser protetizado.

Os programas convencionais de reabilitação física, normalmente, envolvem extensos exercícios repetitivos de amplitude de movimento e coordenação. Essa área da fisioterapia é conhecida como cinesioterapia, e tem como metas minimizar os efeitos da inatividade e corrigir ineficiência de músculos específicos ou grupos de músculos, acelerando o processo de reabilitação [19].

Embora os programas padrões de reabilitação ofereçam benefícios funcionais diretos, sua principal deficiência é a falta de motivação gerada aos pacientes [20]. Neste contexto, [21] destaca que, o longo tempo necessário para a promoção da consciência corporal, aceitação da deficiência e a pouca motivação gerada pelos métodos tradicionais são apontados como motivo de abandono do tratamento fisioterápico, caracterizando-se como uma das principais causas de falha terapêutica.

Buscando promover uma melhor avaliação muscular dos pacientes, [22] ressalta a nítida necessidade de compreender as forças do corpo humano, a fim de reduzir o esforço necessário para realização de um movimento. Além disso, [23] destaca que, transferir protocolos tradicionais de reabilitação que utilizam a eletromiografia para um cenário virtual e incorporar videogames ao processo de treinamento, pode aumentar potencialmente o envolvimento e a perseverança do paciente. Segundo [24], essa abordagem também fornece aos profissionais de fisioterapia dados quantitativos sobre o desempenho do paciente.

3.3 Protetização

A perda de um membro ou parte dele é um fator que sempre esteve presente na humanidade, e o homem procurou desenvolver diferentes maneiras de substituição. Sendo uma delas as próteses, que, podemos definir como sendo um dispositivo artificial que tem como objetivo substituir um membro ausente ou má formação congênita [25].

De acordo com [26, 27], o controle inicial de uma prótese mioelétrica pode ser uma experiência frustrante, especialmente após o evento já traumático de perda de um membro. Devido à “interface” não intuitiva que lida com um complexo sistema mecatrônico, a demanda cognitiva para o controle da prótese é alta e atrasa ainda mais o uso real do dispositivo na vida cotidiana.

Nesse sentido, através da variedade de estratégias de fisioterapia os pacientes precisam aprender a contrair os músculos adequadamente, sua força de ativação e isolamento de um único músculo, esses são parâmetros importantes para que o paciente esteja apto a controlar uma prótese. Porém, cerca 50% dos amputados de membro superior relatam problemas com o controle e a funcionalidade de próteses, o que pode ser atribuído à necessidade de receber mais treinamento de seu manuseio. Ainda não é necessariamente fundamental o acesso a uma prótese para preparar o paciente a utilizá-la, visto que a recuperação da força e coordenação muscular é um processo cognitivo exaustivo e repetitivo de movimentos, que pode ser acompanhada usando *feedback* de sensores de eletromiografia (EMG) [24].

3.4 Computação aplicada a saúde

Atualmente, as estratégias que se relacionam com a computação tem resolvido os mais diversos problemas e promovido soluções promissoras na área da saúde. Através da popularização da computação em *software*, algumas abordagens têm sido aplicadas com intuito de obter diagnósticos mais efetivos e melhores resultados em comparação a soluções tradicionais. Isso se deve ao fato de que as soluções computacionais têm a habilidade de adaptar-se de acordo com os problemas [28].

Ao longo dos anos, várias tecnologias foram surgindo e aplicadas na medicina, como a Inteligência Artificial, no qual pode ser usada para correlacionar dados, encontrar e avaliar diagnósticos de pacientes de maneira mais ágil, podendo minimizar os custos com assistência médica [29]. Também, através da *Big Data* surgem várias aplicações na biomedicina e ciências da saúde como, por exemplo, os dados de pesquisa de máquinas e redes sociais podem ajudar a coletar informações e monitorar condições de doenças epidêmicas em indivíduos [30].

Desta forma, é notório que existem diversas tecnologias que oferecem uma maior precisão no diagnóstico de pacientes. Além disso, a tecnologia tende a maximizar a participação dos indivíduos no processo de tratamento e recuperação, contribuindo no desenvolvimento de soluções mais dinâmicas e eficientes [31]. Todas essas áreas podem ser contempladas em jogos com propósitos específicos, que servem tanto para o aprendizado de novos conceitos, quanto para o treinamento ou desenvolvimento de novas habilidades [32].

3.5 Jogos sérios

Os jogos sérios, em inglês *serious game*, são considerados valorosos no mercado de negócios. Segundo Ben Sawyer, cofundador da *Serious Game Initiative*, o mercado dos jogos sérios fatura 20 milhões de dólares por ano na indústria, comparado ao *digital gaming* com 10 bilhões de dólares, e a expectativa do mercado é crescer mais nas próximas décadas [33].

Segundo [34], um jogo sério tem o potencial de mudar a experiência do usuário através da interação, podendo ser aplicado em diferentes contextos, como a educação, treinamento, saúde, ou comunicação interpessoal. Além disso, o termo *serious de serious game*, vem da função de transmitir alguma mensagem, conhecimento, habilidade ou algum conteúdo ao jogador. Definindo *serious game* em três componentes: experiência, entretenimento e multimídia.

Para a construção de um *serious game* é necessária interação de cientistas ou especialista no assunto que, compreendem a performance humana [35]. Nesse contexto, [36] ressalta a importância de definir claramente o problema e como a tecnologia será empregada na solução. É igualmente importante não apenas a tecnologia envolvida no desenvolvimento, a entrega da solução e a interface do usuário, mas também que a solução seja envolvente, agradável e fácil de usar, promovendo uma experiência desafiadora e recompensadora ao usuário.

4 PHYSIOPONG

Nesta seção serão abordados os conceitos que envolvem a idealização, construção e o desenvolvimento do projeto *PhysioPong*. Inicialmente será apresentado uma breve descrição sobre o sistema, posteriormente, será descrita a implementação da solução e as tecnologias utilizadas. Por último, discuti-se os experimentos realizados permitindo a validação da ferramenta.

4.1 Solução proposta

De acordo com os conceitos estudados, foi proposta uma solução intitulada *PhysioPong*, no qual *Physio* vem do inglês *physiotherapy*, que significa fisioterapia. A palavra *Pong* vem da solução computacional construída que, por sua vez, é baseada no *game Pong* da empresa Atari Inc¹.

O *game Pong* consiste em um jogo de duas dimensões que simula um tênis de mesa, onde o jogador pode controlar uma paleta/barra/raquete movendo-a verticalmente, competindo contra o computador ou outro jogador que controla uma segunda raquete do outro lado da tela. O objetivo do jogo é rebater uma esfera para o outro lado da mesa tentando viabilizar o erro do seu adversário e, desta forma pontuar. Contudo, devido à necessidade de redução da complexidade do *game* foram efetuadas modificações sobre a

¹<<https://www.atari.com/>>

versão original, onde foi desenvolvida uma versão simplificada de apenas um jogador. Desta forma, o PhysioPong possui como objetivo rebater a esfera para o outro lado, sendo que o paciente pode controlar a paleta horizontalmente na parte inferior da tela através de dois sensores de eletromiografia.

A Figura 2 representa um esquema da arquitetura do sistema PhysioPong, sendo possível observar o conceito da utilização de sensores, uma plataforma de *hardware* com microcontrolador e uma interface, onde o jogo é reproduzido.



Figure 2: Esquema da arquitetura do sistema PhysioPong.

Cabe salientar que, o estudo e desenvolvimento desta proposta foi realizado com o apoio do Serviço de Reabilitação Física (SRF) da cidade de Bagé-RS. Esta colaboração acrescenta ao projeto o conhecimento de profissionais da área de fisioterapia, tornando-os responsáveis por apontar os requisitos necessários para o desenvolvimento da aplicação, bem como, por selecionar os pacientes habilitados a participarem dos experimentos com a solução desenvolvida. Visto que, esta pesquisa possui aplicação na área da saúde e inclui experimentos que envolvem humanos, o projeto conta com registro no Comitê de Ética e Pesquisa.

Assim sendo, uma proposta de solução computacional que possibilite aos fisioterapeutas realizar a reabilitação física de pacientes amputados de membros superiores mais eficiente e proporcione maneiras de acompanhamento do progresso destes pacientes, complementa não só do ponto de vista da avaliação realizada pelos fisioterapeutas, mas também, a reintegração destes pacientes a sociedade.

4.2 Tecnologias

A partir do estudo de tecnologias disponíveis e aplicáveis a solução do problema proposto, diversas se mostraram favoráveis. Para a construção do nó sensor optou-se pela utilização do Arduino, visto a facilidade de integração desta tecnologia com sensores e a disponibilidade da plataforma na universidade, além de uma gama grande de documentação disponível. Além disso, a placa de prototipagem Arduino Mega 2560 foi escolhida visando uma solução que necessite de maior quantidade de recursos. Também, a escolha do sensor EMG *MyoWare Muscle Sensor* foi realizada devido sua integração com a plataforma Arduino, por ser uma solução de baixo custo e disponibilidade em mercado, comparado a outros sensores.

Por outro lado, foi elencado a necessidade de utilização de um motor de jogos para o desenvolvimento da solução. Deste modo, optou-se pela utilização do motor de jogos Unity, por ser uma ferramenta mais completa entre as pesquisadas. A Unity destaca-se em diversos aspectos, como a licença de *software*, uma comunidade de desenvolvedores ativa, a facilidade de uso, além de ter uma boa documentação acerca de suas funcionalidades.

Dentre as linguagens de programação suportadas pela *game engine* Unity, está o *JavaScript* e o *C#*. Tendo em vista a maior quantidade de documentação sobre a linguagem de programação *C#* para o desenvolvimento de jogos digitais, a mesma foi selecionada no desenvolvimento da solução. Avaliando a necessidade de armazenar as informações do jogo, o PhysioPong conta com uma base de dados MySQL que foi escolhido por sua facilidade de uso, confiabilidade e desempenho, além de ser uma ferramenta *open source*. Para a comunicação do jogo com a base de dados foi utilizado o *framework* NET 2.0, sendo esse um requisito necessário para seu correto funcionamento.

4.3 Desenvolvimento

Com o propósito de implementar a mecânica de interação do paciente com o jogo, foram definidas basicamente três etapas, são elas:

- (1) Aquisição: responsável pela obtenção dos sinais mioelétricos dos sensores de eletromiografia. A aquisição do sinal mioelétrico é realizado através de dois sensores, no qual, cada sensor é responsável por movimentar a paleta para um dos lados do jogo PhysioPong. A decisão de utilização de dois sensores para as ações do jogo, foi devido que às próteses mioelétricas, em sua maioria, operam da mesma maneira, possibilitando um tratamento mais adequado e próximo ao real para pacientes que buscam a protetização. Sendo que, a posição do sensor no coto do paciente é determinada com a ajuda de fisioterapeutas. O sinal analógico obtido pelos sensores é reconhecido pelo microcontrolador Arduino, mais especificamente através do conversor AD (Analogico Digital) da placa, gerando uma representação digital da grandeza analógica recebida. Assim, conectado a um computador envia os dados sequencialmente em forma de *string*, através de uma porta serial. Essa abordagem possibilita a identificação do sinal pelo jogo na plataforma Unity.
- (2) Processamento: responsável pelo processamento das informações obtidas na etapa de aquisição. Os dados recebidos através de uma única *string*, são separados individualmente para que sejam utilizados durante o processamento do jogo. Posteriormente, é determinado um limiar que será realizado o movimento (para cada sensor), sendo que, de acordo com a amplitude do sinal obtido pela contração dos músculos é executado uma ação no jogo. Este limiar de amplitude é definido nos ajustes iniciais das sessões de exercícios, mediante o monitor serial do Arduino enquanto o paciente realiza contrações musculares. Portanto, é visualizado a variação dos valores do sinal mioelétrico resultante e, com base na média dos picos máximos de cada sensor é definido o valor que será o limiar de amplitude para realização dos movimentos. Desta forma, se o paciente através de uma contração muscular atingir o limiar definido em algum dos sensores, a paleta é movimentada a uma velocidade determinada para esquerda ou direita, no eixo horizontal. Caso seja realizado uma força muscular que atinja o limiar nos dois sensores ao mesmo tempo, a paleta será movida para a direção que corresponda a maior força exercida.

- (3) Resposta: esta etapa descreve a movimentação da paleta na interface do jogo de acordo com a etapa de processamento. No qual, as ações a serem executadas podem ser paleta para direita ou paleta para a esquerda, conforme a posição dos sensores no coto do paciente.

A fim de contemplar todas as funcionalidade elencadas como requisitos, o *Menu principal* contém as principais opções do jogo. O *Menu principal* possibilita iniciar uma nova sessão, realizar o cadastro de pacientes, visualizar relatórios, carregar informações do projeto, além de sair do jogo. Tal menu foi implementado através de componentes de *User Interface* (UI) contidos na própria ferramenta do Unity.

No que diz respeito a uma nova sessão de exercícios, primeiramente é necessário que fisioterapeuta realize a identificação do paciente. Após a inserção dos dados do paciente é possível visualizar o menu de níveis do jogo. O *PhysioPong* contém quatro níveis de dificuldade implementados e um nível de treinamento, podendo ser escolhidos pelo fisioterapeuta de acordo com a evolução do paciente no tratamento.

Os níveis de dificuldade do jogo são diferenciados pelas características de movimentação da barra e da esfera. Para a movimentação da esfera foram definidos níveis de velocidade (normal e difícil), sendo a velocidade da esfera no nível difícil é 50% mais rápida em relação a velocidade normal. A movimentação da barra nos níveis iniciais é realizada de acordo com um limiar de amplitude do sinal EMG, conforme a etapa de processamento da mecânica de interação com o jogador, discutida no início desta seção. Já para níveis mais avançados, a movimentação da barra é executada conforme amplitude do sinal emitido, ou seja, quanto maior a amplitude da força muscular exercida pelo paciente, maior será a distância percorrida pela barra no jogo. Tal mecanismo permite que o paciente possa aprimorar a motricidade fina de seu músculo. Como exemplo disso, podemos referir-se a um paciente protetizado com uma prótese mioelétrica que pretende agarrar um copo de plástico. Tendo em vista que o copo é flexível e, ao pegar o copo seja aplicado uma força muscular muito grande, o mesmo irá amassar. Ainda se o paciente não aplicar uma força suficiente, o copo pode deslizar da prótese e cair. Deste forma, o treinamento da motricidade fina do paciente é essencial para praticar suas habilidades motoras e alcançar uma protetização de qualidade.

Com base no jogo Pong, foi desenvolvida a cena principal. Esta cena é de fato onde a partida acontece, sendo o local em que todos os *game objects* interagem. O *game object* é a base de todos os objetos em uma cena, sendo que todos os objetos de uma cena são *game objects*. Consistem em caixas vazias com a possibilidade de adicionar diversos componentes, agregando diferentes características necessárias na construção do jogo. Desta forma, a cena é tratada como um conjunto de objetos, na qual para alguns é permitido instância-lo zero, uma ou mais vezes.

Tal interface é importante, pois este é o meio pelo qual o paciente interage com o jogo, sendo que a qualidade deve ser levada em consideração no seu desenvolvimento. Assim, com o intuito de manter o foco da tela livre para que o paciente possa atentar-se ao jogo, optou-se por manter os componentes que contêm informações interativas como a pontuação, o tempo de sessão e o botão de acesso ao menu de pause na parte superior da tela.

Para que os fisioterapeutas possam visualizar a amplitude do sinal mioelétrico emitido pela contração dos músculos do paciente durante o treinamento, foram dispostas duas barras verticais ao lado direito da cena do jogo. Essa abordagem permite a visualização da amplitude do sinal emitido pelos músculos do paciente detectado pelos sensores EMG. As barras representam a amplitude do sinal mioelétrico, e se ajustam de acordo com as contrações musculares do paciente ao jogar o *PhysioPong*. A Figura 3 apresenta a cena principal do jogo (nível 1), possibilitando identificar os objetos descritos anteriormente.



Figure 3: Cena principal do PhysioPong.

A fim de motivar os pacientes nas sessões de tratamento foi desenvolvido um sistema de pontuação, onde a cada rebatida que o jogador realiza é acrescido um ponto em sua pontuação final, a qual é exibida no canto superior esquerdo da cena principal. Também, ao lado da pontuação foi adicionado o tempo de progresso da sessão, possibilitando o acompanhamento da duração de cada sessão. Este tempo é determinado pelos fisioterapeutas visando a integridade do paciente, pois, o tempo de exposição muito grande a realização de exercícios pode ocasionar fadiga muscular e até lesões.

Fundamentado nos requisitos anteriormente levantados, os relatórios exibem as informações pessoais do paciente selecionado, além de dados específicos de cada sessão realizada. Também, é possível visualizar especificamente os dados de cada nível jogado na sessão, como os pontos obtidos, a taxa de acertos e o índice de desenvolvimento (ID). A taxa de acertos é calculada através da porcentagem do total de pontos em relação ao número de vezes que o paciente não conseguiu rebater a esfera. O ID foi desenvolvido para o projeto *PhysioPong* juntamente com profissionais de fisioterapia a fim de mensurar a evolução do paciente ao longo do tratamento. O ID corresponde ao número de pontos consecutivos obtidos sem deixar a esfera "cair". Desta forma, quanto maior o índice presume-se que o paciente tenha um domínio maior sobre a ferramenta.

Os relatórios fornecem informações relevantes referentes as sessões, permitindo que os fisioterapeutas analisem posteriormente o progresso do paciente ao longo do tratamento, de maneira que possam obter um diagnóstico mais coerente em relação a reabilitação de amputados de membros superiores. Além disso, o armazenamento destas informações permite um melhor embasamento ao apresentar os resultados ao paciente.

4.4 Experimentos

Esta seção apresenta os conceitos envolvidos na elaboração e execução de testes da ferramenta PhysioPong. Os experimentos foram realizados durante o desenvolvimento do jogo, sendo que, primeiramente para a validação do nó sensor desenvolvido foram elaborados testes que abordam o funcionamento específico do *hardware* envolvido no sistema, como os sensores *MyoWare* e a comunicação com o Arduino. Em seguida foram executados experimentos com o intuito de avaliar a integração entre o nó sensor e a Unity, bem como testes aferindo o correto funcionamento do jogo e o adequado armazenamento de informações no banco de dados desenvolvido. Por fim, com o propósito de validar a solução desenvolvida do ponto de vista técnico e de quanto o jogo satisfaz o problema de pesquisa levantado, testes científicos com indivíduos amputados de membro superior foram realizados. A Figura 4 demonstra o diagrama de seqüência dos experimentos.

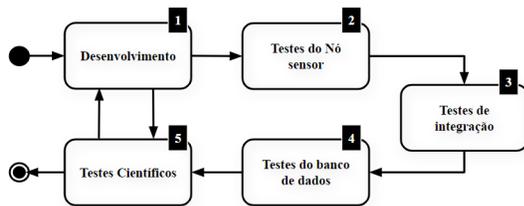


Figure 4: Diagrama de seqüência dos experimentos.

Tendo em vista o propósito deste trabalho, foram selecionados três pacientes amputados para realização de testes com a ferramenta desenvolvida. Estes indivíduos foram escolhidos pelos fisioterapeutas do SRF de acordo com sua aptidão e a capacidade de realizar exercícios com sensores. A Tabela 5 apresenta as características destes pacientes e indicações referente a amputação, como nível, lado e causa.

Figure 5: Pacientes selecionados para realização dos experimentos.

Característica	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3
Sexo	Masculino	Masculino	Masculino
Idade	34	25	39
Nível de amputação	Amputação de punho	Desarticulação de ombro	Transradial
Lado da amputação	Direito	Esquerdo	Esquerdo
Causa da amputação	Traumática	Traumática	Traumática

A Figura 6 apresenta a realização de experimentos com dois destes pacientes. Nestas figuras é possível observar a disposição dos sensores no coto do paciente, diferenciando-se em sua posição. Esta diferença ocorre devido ao próprio nível da amputação e a adequação da melhor posição dos sensores para captação do sinal mioelétrico do músculo. Cabe salientar que, a posição dos sensores é determinada pelos fisioterapeutas.



Figure 6: Realização de experimentos com pacientes.

Com o intuito de avaliar a ferramenta, considerando a opinião de quem tem experiência e acompanha de perto a reabilitação de amputados, foi elaborado um questionário para os fisioterapeutas, buscando obter um *feedback* sobre a utilização do sistema como um todo e verificar se o mesmo atende aos requisitos propostos. Para elaboração deste questionário foi utilizado como base a metodologia de [37], avaliando os quesitos de jogabilidade, mecânica e usabilidade de jogos sérios. Alguns exemplos de questões contidas no questionário são: "1 - O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?"; "2 - As informações na tela estão dispostas de maneira agradável?"; "3 - Considerando o contexto em que é proposto, qual o nível de dificuldade do jogo?"; "6 - O jogo satisfaz a proposta do projeto?".

O questionário foi respondido por três profissionais que estiveram em contato com o jogo. Assim, as respostas para as questões de múltipla escolha foram analisadas a partir média de cada indicação da Escala *Likert* escolhida na avaliação, que, de acordo com [38] apresenta cinco opções de respostas, podendo ser representado por uma pontuação de 1 a 5.

Também, para que a ferramenta seja avaliada do ponto de vista do paciente foi elaborado um questionário para o preenchimento após uma sessão de exercícios. Este questionário foi desenvolvido com base nos mesmos critérios do questionário de avaliação pelos fisioterapeutas, porém, com foco maior na usabilidade do jogo e a motivação gerada. O questionário contém oito questões e um campo para possíveis observações do paciente. Exemplos de questões contidas neste questionário são: "1 - O funcionamento do jogo é de fácil compreensão?"; "3 - Qual o nível de dificuldade do jogo?"; "4 - Qual o tempo de resposta do jogo aos movimentos?"; "6 - Como você classifica o sistema de controle do jogo?"; "8 - Como foi sua experiência com o jogo?". Esta avaliação foi respondida por três pacientes submetidos a realização dos experimentos.

Portanto, a próxima seção irá apresentar os resultados das avaliações dos experimentos científicos, a partir dos questionários elaborados. Além disso, serão discutidas as implicações do resultado geral da avaliação dos profissionais e, também, explanações a respeito do comportamento dos pacientes diante da solução desenvolvida.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, os resultados obtidos na avaliação dos profissionais de fisioterapia foi positivo, visto que a maioria das questões foi pontuada

com nota máxima. Estes índices demonstraram que o jogo é de fácil compreensão, as informações na tela estão dispostas de maneira agradável e obtiveram uma impressão otimista quanto à satisfação do jogo correspondente a proposta do projeto, o auxílio ao tratamento de amputados de membros superiores. Também, em relação à mecânica do jogo os fisioterapeutas pontuaram que o tempo de resposta aos movimentos e sua precisão foram satisfatórios. Além disso, é possível analisar que o jogo possui um nível de dificuldade baixo no contexto do projeto. A Figura 7 demonstra a média por questão dos resultados obtidos na avaliação do PhysioPong pelos fisioterapeutas. Quanto às duas questões discursivas do questionário



Figure 7: Respostas médias por questão do questionário dos fisioterapeutas

de avaliação feita pelos profissionais de fisioterapia, são elas: "7 - Para melhorar o acompanhamento do tratamento de pacientes, que informações poderiam ser apresentadas no decorrer do jogo?" e "8 - Descreva textualmente a sua opinião sobre o sistema e os seus possíveis benefícios". Declarações como: "O sistema auxilia no programa de pré-protetização dos pacientes com amputação de membros superiores. Trabalha a motricidade fina destes pacientes de forma lúdica, percepção corporal e motivação durante o tratamento. O jogo é bem objetivo e de fácil acesso para fisioterapeutas e pacientes.", como também: "Trata-se de uma ferramenta muito útil no processo de reabilitação de pacientes amputados, pois, além de ser usado para ganho de coordenação fina, também propicia ao paciente uma forma de entretenimento, o que faz os pacientes sentirem-se motivados a continuar o tratamento.", foram respostas referente a questão 8.

A Figura 8 apresenta o resultado médio por questão da avaliação dos pacientes. Assim, foi possível analisar que os pacientes gostaram de utilizar a solução, relatando ser uma experiência motivadora. Quanto a mecânica do jogo, os movimentos são executados de maneira precisa e com tempo de resposta satisfatório, bem como, o sistema de controle foi pontuado como agradável. Também, os resultados demonstram que as informações na tela estão dispostas de maneira agradável e o jogo possui fácil compreensão. A avaliação dos resultados obtidos no questionário de pacientes, apontam que o jogo é de fácil compreensão, o que se deve ao fato dos controles de movimentação da paleta serem simples e intuitivos. Além disso, o nível de dificuldade foi apontado como baixo, indicando que não se exige do paciente a necessidade de grande raciocínio ao jogar. Também, a reação dos pacientes ao utilizar o PhysioPong



Figure 8: Respostas médias por questão do questionário dos pacientes.

foi positiva, sendo que os mesmos sentiram-se animados utilizando a solução, demonstrando que o jogo pode, de fato, motivá-los ao tratamento.

Avaliando os resultados obtidos no questionário do fisioterapeuta, foi possível concluir que, a solução desenvolvida pode auxiliar no tratamento, sendo relatado pelo próprios profissionais da área, auxiliando no processo de pré-protetização, na melhora da percepção corporal, além do ganho da motricidade fina propiciado a medida que o paciente avança no tratamento ao jogar o PhysioPong. Também, segundo os fisioterapeutas o jogo apresenta uma forma de entretenimento aos pacientes, motivando-os a continuar o tratamento, sendo esse um ponto importante tendo em vista que o abandono do tratamento é frequente entre pacientes amputados.

Portanto, avaliando de maneira geral, as questões técnicas referentes a jogabilidade, mecânica, aspectos de construção e utilização do jogo foram bem avaliadas pelos paciente e fisioterapeutas, demonstrando que a solução foi desenvolvida de maneira adequada. Em relação aos pontos específicos do problema de pesquisa levanto, os resultados indicam que através da gameficação o processo de reabilitação física pode ser aprimorado, além de apoiar na avaliação dos resultados. Além disso, para que seja possível medir os ganho de força muscular e a evolução do paciente no jogo, é necessária a realização de uma sequência maior de experimentos com cada paciente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma proposta de solução computacional que permite o tratamento de amputados de membros superiores. A solução intitulada PhysioPong tem como intuito promover uma ferramenta de estímulo a capacidade muscular utilizando uma versão adaptada do jogo Pong, controlado por sinais mioelétricos captados por sensores EMG. Os estímulos para movimentação do jogo são fornecidos pelo próprio esforço muscular do paciente, tendo em vista a necessidade de estimular as diversas áreas motoras do córtex. Além disso, espera-se que viabilize por meio da interatividade proporcionada pelo jogo a motivação do paciente para o tratamento, buscando reintegrar estes indivíduos a sociedade.

Com base nos resultados obtidos é possível analisar que os jogos sérios podem ser ferramentas eficazes no tratamento de amputados,

levando uma experiência lúdica aos jogadores. Quanto aos objetivos traçados no início desta pesquisa, pode-se dizer que todos foram atingidos. Inicialmente, a busca pela fundamentação teórica levou a uma maior familiaridade nos temas envolvidos nesta pesquisa, embasando o desenvolvimento deste projeto. A definição dos requisitos juntamente com os fisioterapeutas foi realizadas de maneira eficaz, de modo que os todos os requisitos funcionais e não funcionais foram desenvolvidos ao longo do trabalho, atingindo os objetivos traçados no início da pesquisa. Quanto a metodologia utilizada, observou-se que as etapas elencadas abarcaram todos os quesitos para elaboração deste trabalho, assim como a utilização do método GUP, de forma adaptada, se mostrou adequado para o desenvolvimento do PhysioPong.

Os resultados da avaliação dos questionários realizados apontam que o jogo possui jogabilidade, mecânicas e funcionalidades compatíveis com a solução proposta, gerando bons resultados e desempenhando o funcionamento esperado. A reação dos pacientes ao utilizar o PhysioPong foi positiva, sendo que os mesmos sentiram-se animados utilizando a solução, indicando as possibilidades do jogo de motivá-los ao tratamento. A avaliação dos fisioterapeutas acerca da ferramenta indicam que a possibilidade de resultados no tratamento são promissoras, o que fundamenta a utilização do PhysioPong.

Por fim, pretende-se dar continuidade ao projeto PhysioPong, realizando novos experimentos com os pacientes cadastrado, expondo-os mais vezes a ferramenta buscando melhores resultados quanto a validação do jogo no contexto de reabilitação de pacientes amputados. Também, de modo a buscar novos dados quantitativos que possam agregar no desenvolvimento desta pesquisa, outros pacientes serão selecionados para realização de experimentos, possibilitando análises mais detalhadas do PhysioPong.

REFERENCES

- [1] Renato Sobral Monteiro Junior, Roberto Junot Paiva Carvalho, Elirez Bezerra da Silva, and Fábio Ganime Bastos. Efeito da reabilitação virtual em diferentes tipos de tratamento. *Revista de Atenção à Saúde (antiga Rev. Bras. Ciên. Saúde)*, 9(29), 2012.
- [2] Kenedy Lopes Nogueira et al. Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação. 2014.
- [3] Fahim Anwar and Ahmad Alkhayer. Perceptions of prosthetic limb among lower limb amputees. *International Journal of Therapies and Rehabilitation Research*, 5(4):175–179, 2016.
- [4] Flávia Gonçalves Fernandes, Alexandre Cardoso, and Edgard Lamounier. Adaptação de jogos sérios para crianças com deficiência física nos membros superiores. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 5, page 598, 2016.
- [5] Chet Moritz, Tim Morrison, Brian Otis, John Burt, Dianne Rios, Torey Gilbertson, and Sarah McCoy. 'neurogame therapy' for improvement of movement coordination after brain injury: Developing a wireless biosignal game therapy system. In *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2011 IEEE*, pages 72–77. IEEE, 2011.
- [6] Angelique Slijper, Karin E Svensson, Per Backlund, Henrik Engström, and Katharina Stibrant Sunnerhagen. Computer game-based upper extremity training in the home environment in stroke persons: a single subject design. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1):35, 2014.
- [7] Julian Alvarez, Damien Djaouti, et al. An introduction to serious game definitions and concepts. *Serious Games & Simulation for Risks Management*, 11:11–15, 2011.
- [8] Edna Lúcia da Silva and Estera Muszkat Menezes. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 2001.
- [9] John W Creswell. Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In *Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 2010.
- [10] Antônio Joaquim Severino. *Metodologia do trabalho científico*. Cortez editora, 2017.
- [11] Cleber Cristiano Prodanov and Ernani Cesar de Freitas. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição*. Editora Feevale, 2013.
- [12] Kevin Flood. Game unified process, 2003. URL <https://www.gamedev.net/articles/programming/general-and-gameplay-programming/game-unified-process-r1940/>.
- [13] José André Carvalho. *Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação*. Manole, 2003.
- [14] Sérgio Lianza. *Medicina de reabilitação*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 3 edition, 2001.
- [15] Grant McGimpsey and Terry C Bradford. Limb prosthetics services and devices. *Bioengineering Institute Center for Neuroprosthetics Worcester Polytechnic Institution*, 2008.
- [16] AH. Crenshaw. *Cirurgia ortopédica de campbell*. São Paulo, 8 edition, 1996.
- [17] Stuart B. Porter. *Fisioterapia de Tidy*. Elsevier, 13 edition, 2005.
- [18] A. Leitão and V. de A. Leitão. *Clínica de reabilitação*. São Paulo, 1ª edition, 1995.
- [19] M. D. Gardiner. *Manual de terapia por exercício*. Santos, São Paulo, 4ª edition, 1995.
- [20] M Kotila, H Numminen, O Waltimo, and M Kaste. Depression after stroke: results of the finnstroke study. *Stroke*, 29:368–372, February 1998. ISSN 0039-2499.
- [21] RS Dias, ILA Sampaio, and LS Taddeo. A introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterapêutico. In *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, volume 4, 2009.
- [22] M Voinescu, D P Soares, R M Natal Jorge, A Davidescu, and L J Machado. Estimation of the forces generated by the thigh muscles for transtibial amputee gait. *Journal of biomechanics*, 45:972–977, April 2012. ISSN 1873-2380. doi: 10.1016/j.jbiomech.2012.01.010.
- [23] J. W. Burke, M. D. J. McNeill, D. K. Charles, P. J. Morrow, J. H. Crosbie, and S. M. McDonough. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer*, 25(12):1085, Aug 2009. ISSN 1432-2315. doi: 10.1007/s00371-009-0387-4. URL <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0387-4>.
- [24] Cosima Prahm, Fares Kayali, Ivan Vujaklija, Agnes Sturma, and Oskar Aszmann. Increasing motivation, effort and performance through game-based rehabilitation for upper limb myoelectric prosthesis control. In *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2017 International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2017.
- [25] Fernando Boccolini. *Reabilitação: amputados, amputações e próteses*. São Paulo, 2 edition, 2000.
- [26] Aidan D. Roche, Hubertus Rehbaum, Dario Farina, and Oskar C. Aszmann. Prosthetic myoelectric control strategies: A clinical perspective. *Current Surgery Reports*, 2(3):44, Jan 2014. ISSN 2167-4817. doi: 10.1007/s40137-013-0044-8. URL <https://doi.org/10.1007/s40137-013-0044-8>.
- [27] Agnes Sturma, Peter Göbel, Malvina Herceg, Nan Gee, Aidan Roche, Veronika Fialka-Moser, and Oskar C. Aszmann. Advanced rehabilitation for amputees after selective nerve transfers: Emg-guided training and testing. In Winnie Jensen, Ole Kæstler Andersen, and Metin Akay, editors, *Replace, Repair, Restore, Relieve – Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation*, pages 169–177, Cham, 2014. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-08072-7.
- [28] Shalini Gambhir, Sanjay Kumar Malik, and Yugal Kumar. Role of soft computing approaches in healthcare domain: a mini review. *Journal of medical systems*, 40(12):287, 2016.
- [29] Steven E Dilisizian and Eliot L Siegel. Artificial intelligence in medicine and cardiac imaging: harnessing big data and advanced computing to provide personalized medical diagnosis and treatment. *Current cardiology reports*, 16(1):441, 2014.
- [30] Tao Huang, Liang Lan, Xuexian Fang, Peng An, Junxia Min, and Fudi Wang. Promises and challenges of big data computing in health sciences. *Big Data Research*, 2(1):2–11, 2015.
- [31] Shyamal Patel, Hyung Park, Paolo Bonato, Leighton Chan, and Mary Rodgers. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1):21, 2012.
- [32] Liliane dos Santos Machado, Ronei Marcos de Moraes, Fatima de Lourdes dos Santos Nunes, and Rosa Maria Esteves Moreira da Costa. Serious games based on virtual reality in medical education. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 35(2): 254–262, 2011.
- [33] Richard Van Eck. Digital game-based learning: It's not just the digital natives who are restless. *EDUCAUSE review*, 41(2):16, 2006.
- [34] Fedwa Laamarti, Mohamad Eid, and Abdulmotaleb El Saddik. An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014:11, 2014.
- [35] Michael Zyda. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38(9):25–32, 2005.
- [36] Tarja Susi, Mikael Johannesson, and Per Backlund. Serious games—an overview [technical report hs-iki-tr-07–001]. *Skövde, Sweden: University of Skövde School of Humanities and Informatics*, 2007.
- [37] Mary Magee Quinn, Carl Symborski, Meg Barton, James Korris, Travis Falstad, and Stephanie Granato. Methodology for playtesting serious games a case study using a mixed method approach. In *2013 IEEE International Games Innovation Conference (IGIC)*, pages 222–227. IEEE, 2013.
- [38] Ana Amaro, Andreia Póvoa, and Lúcia Macedo. A arte de fazer questionários. Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2005.