



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Tiago Pereira Remédio

REABILITAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA POR MEIO DE
JOGOS DIGITAIS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM
LÓGICA FUZZY, CÂMERA DE PROFUNDIDADE E
DISPOSITIVOS VESTÍVEIS

São José do Rio Preto

2019

Tiago Pereira Remédio

REABILITAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA POR MEIO DE
JOGOS DIGITAIS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM
LÓGICA FUZZY, CÂMERA DE PROFUNDIDADE E
DISPOSITIVOS VESTÍVEIS

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Alexandro José Baldassin

São José do Rio Preto

2019

Remédio, Tiago Pereira.

Reabilitação fisioterapêutica por meio de jogos digitais : uma abordagem baseada em lógica Fuzzy, câmera de profundidade e dispositivos vestíveis / Tiago Pereira Remédio. -- São José do Rio Preto, 2019

75 f. : il., tabs.

Orientador: Alexandro José Baldassin

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

1. Computação - Matemática. 2. Inteligência artificial - Aplicações médicas. 3. Lógica difusa. 4. Processamento de imagens. 5. Tecnologia vestível. 6. Capacidade motora. 7. Fisioterapia.

I. Título.

CDU – 518.72

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Tiago Pereira Remédio

REABILITAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA POR MEIO DE
JOGOS DIGITAIS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM
LÓGICA FUZZY, CÂMERA DE PROFUNDIDADE E
DISPOSITIVOS VESTÍVEIS

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Alexandro José Baldassin
UNESP – Câmpus de Rio Claro
Orientador

Prof^a. Dr^a. Adriane Beatriz de Souza Serapião
UNESP – Câmpus de Rio Claro

Prof^a. Dr^a. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes
USP – EACH

Rio Claro

11 de janeiro de 2019

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão e minha noiva, pelo apoio, carinho e compreensão para que eu siga meus sonhos, e também ao meu orientador Alexandro, por me motivar e me guiar nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

RESUMO

O presente trabalho visa a construção de uma ferramenta de auxílio para profissionais da fisioterapia, que promova por meio de tecnologias da computação, como a lógica *Fuzzy*, um tratamento personalizado, motivador e eficaz. Inicialmente fez-se uma verificação da literatura e trabalhos que relacionem reabilitação com tecnologia (incluindo ambientes virtuais imersivos e não imersivos), seguida de uma análise das necessidades da fisioterapia para, enfim, criar uma proposta de solução computacional. O problema encontrado consiste da necessidade de uma ferramenta motivadora (mantenha a assiduidade do paciente), que apresente dados da progressão do paciente e seja de fácil utilização (pelo paciente e fisioterapeuta). A solução computacional envolve câmera de profundidade e sensores vestíveis para obter dados corporais e, com análise de dados e utilização de métodos de inteligência artificial, consiga prover uma forma intuitiva, motivadora e eficiente para o tratamento fisioterapêutico. Resultados mostram a aplicabilidade da proposta em obter os valores biométricos, a criação de exercícios personalizados, os jogos motivacionais com dificuldade dinâmica por meio da lógica *Fuzzy* proposta e a visualização do progresso dos pacientes.

Palavras-chave: reabilitação motora; câmera de profundidade; sensores vestíveis; inteligência artificial; saúde; lógica Fuzzy; jogo digital.

ABSTRACT

The present work aims to build an assist tool to physiotherapists that, through computer science technologies, such as Fuzzy logic, can promote a personalized, motivating and efficient treatment. Initially a literature review and works related to technologies and health were analyzed, followed by an analysis of the physiotherapy needs so that a computer solution could be proposed. The issue found consists in the need of a motivational tool (which can keep the attendance of the patient), that shows progressive data of the patient and is of ease use (both by the patient and physiotherapist). The computer solution uses a depth camera (such as MS Kinect) and wearable sensors to obtain the body data and, through data analysis and artificial intelligence methods, make an intuitive, motivational and efficient solution for the physical treatment. Results shows the applicability of the proposal in obtaining the biometric data, the creation of custom virtual exercises, the motivational games with dynamic difficulty through the Fuzzy logic and the visualization of the patient progress.

Keywords: motor rehabilitation; depth camera; wearable sensors; artificial intelligence; health; fuzzy logic; digital game.

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Diagrama da proposta do trabalho	15
Figura 2. Ângulo para a elevação do ombro através de abdução (CLARKSON, 2002).	18
Figura 3. Ângulo da extensão / flexão do cotovelo (CLARKSON, 2002).	19
Figura 4. Medição do ângulo da abdução do quadril (CLARKSON, 2002).	19
Figura 5. Ângulo de flexão / extensão do joelho (CLARKSON, 2002).	19
Figura 6. Diagrama de fluxo entre a habilidade do jogador e a dificuldade do jogo.	21
Figura 7. Diagrama de funcionamento da lógica Fuzzy (Adaptado de Esfahlani et al, 2017).....	22
Figura 8. Exemplo de fuzzificação da variável IMC.	22
Figura 9. Fluxograma de desenvolvimento da ferramenta.	29
Figura 10. Câmera Astra Pro, da Orbbec.	32
Figura 11. Avatar visualizado com suas articulações.	32
Figura 12. <i>Interface de apresentação dos ângulos corporais para o usuário da ferramenta.</i>	34
Figura 13. Pulseira de monitoramento cardíaco Rhythm+, da Scosche.	35
Figura 14. Adaptador ANT+ USB2 da Garmin.....	36
Figura 15. Níveis de intensidade física e valor absoluto da frequência cardíaca.	37
Figura 16. Fuzzificação das variáveis de entrada.....	39
Figura 17. Fuzzificação da variável de saída.....	39
Figura 18. Diagrama de telas do funcionamento da primeira seção da ferramenta.	42
Figura 19. Diagrama de telas do funcionamento da segunda seção da ferramenta.....	43
Figura 20. Interface de criação de exercícios personalizados.....	46
Figura 21. Manipulação dos ângulos das articulações para o exercício.....	46
Figura 22. Comparação angular entre o exercício proposto e o movimento do usuário.....	47
Figura 23. Gráfico de visualização do progresso da amplitude articular.	48
Figura 24. Opções para serem incluídas no relatório de desempenho do paciente.	48
Figura 25. Jogo “Passeio no Parque!” modo membros superiores.....	50
Figura 26. Jogo “Passeio no Parque!” modo membros inferiores.....	50
Figura 27. Jogo “Um Dia de Goleiro!”.....	51

SUMÁRIO

	Página
1 Introdução	10
1.1 Objetivos.....	13
1.2 Proposta do projeto	14
1.3 Publicações	16
1.4 Organização do texto.....	16
2 Fundamentação teórica.....	17
2.1 Reabilitação motora de grandes membros	17
2.2 Frequência cardíaca	20
2.3 Teoria de fluxo	20
2.4 Lógica <i>fuzzy</i>	21
2.5 <i>Engine</i> para jogos digitais.....	23
2.6 Biometria.....	24
2.7 Trabalhos relacionados.....	24
2.7.1 Tecnologias e saúde	24
2.7.2 Inteligência artificial em sistemas para saúde	26
2.7.3 Sistemas de reabilitação	26
2.7.4 Análise sobre os trabalhos	27
3 Sistema proposto	29
3.1 Necessidades da reabilitação	29
3.2 Análise de hardware	30
3.2.1 Câmera de profundidade.....	30
3.2.2 Captura dos ângulos corporais	32
3.2.3 Sensor vestível.....	34
3.2.4 Comunicação ant+	35
3.2.5 Sensor vestível e frequência cardíaca	36
3.3 Utilização da lógica <i>fuzzy</i>	37
3.3.1 Módulo <i>fuzzy</i>	41
3.4 Projeto de <i>software</i>	41

3.4.1 Segurança dos dados	44
4 Resultados do sistema proposto	45
4.1 Sistema desenvolvido	45
4.1.1 Criação de exercício e comparação angular	45
4.1.2 Visualização do progresso	47
4.1.3 Criação de relatórios	48
4.1.4 Jogos propostos	49
4.1.5 Considerações adicionais	52
4.2 Proposta de teste de utilização do sistema.....	52
4.2.1 Amostra.....	53
4.2.2 Procedimento	53
4.2.3 Análise dos dados.....	54
4.2.4 Riscos	54
5 Discussão e conclusão.....	56
5.1 <i>Hardware</i> e saúde	56
5.2 Usuários da ferramenta	57
5.3 Apresentação dos desafios.....	58
5.4 Utilização da ferramenta	58
5.5 Conclusão.....	59
5.6 Trabalhos futuros.....	59
Referências	61
Apêndice A – TCLE paciente	65
Apêndice B – TCLE fisioterapeuta.	67
Apêndice C – Ficha de avaliação goniométrica.....	69
Apêndice D – Anamnese.....	70
Apêndice E – Modelo de relatório gerado pela ferramenta.	72
Anexo A – SUS (<i>System Usability Scale</i>).....	75

1 INTRODUÇÃO

O avanço da ciência e tecnologia tem possibilitado a melhora da qualidade de vida das pessoas, conseqüentemente proporcionando uma maior expectativa de vida. Conforme a expectativa de vida das pessoas aumenta, também aparecem patologias relacionadas com a idade avançada (CRUZ-JENTOFT et al., 2010). Uma das principais alterações do corpo humano ocorre na capacidade motora, causando um declínio em decorrência do envelhecimento ou condições patológicas, como por exemplo, Mal de Parkinson, quedas, lesões e dificuldades motoras em situações cotidianas (SPIR-DUZO, 2005). Como o cenário destas situações continua a acontecer, e a idade a avançar, as pessoas precisam de cuidados e tratamentos constantes.

Os principais tratamentos de idosos e pessoas em geral é feito pela fisioterapia por meio de reabilitação motora com métodos convencionais e presenciais. Como tais pacientes precisam de acompanhamento constante, é necessário mudar suas rotinas para suprir esta necessidade e dispendir parte de sua renda, visto o custo de tratamentos exclusivos para o restante de sua vida. Além disso, há uma dificuldade de locomoção e falta de tempo disponível em muitos pacientes para atender às consultas marcadas (ROY et al., 2013). O avanço da computação permite o auxílio a estes problemas com a biometria não invasiva e de pequenos dispositivos.

A miniaturização dos dispositivos permitiu um grande desempenho em computadores pessoais, que contribuem pela massificação da computação por meio dos dispositivos móveis. Além de possibilitar um maior desempenho, como processamento, armazenamento e transferência, o avanço do *hardware* também possibilitou a utilização desses eletrônicos em outras formas para o usuário. Atualmente os mais diversos utensílios, como câmeras, torradeiras, geladeira, etc. podem conter sistemas microcontrolados e com acesso à internet, isto possibilitou uma maior conectividade e difusão dos sistemas computacionais.

Os dispositivos vestíveis surgiram em decorrência desta miniaturização. Eles consistem em micro-sensores dispostos em relógios, pulseiras, óculos, tornozeleiras, tênis, etc. Com tais sensores, pode-se extrair diversas informações corporais em tempo real, e realizar análises sobre estas informações com uma abordagem pessoal

e única. As informações incluem temperatura corporal, batimentos cardíacos, pressão sanguínea, movimentação realizada, entre outras.

Para que estes dispositivos consigam transferir as informações mensuradas em tempo real, sem a necessidade de um cabo pendurado, é necessária a utilização de uma conexão sem fio. De acordo com Raza et al. (2015) o BLE (*Bluetooth Low Energy*) é muito utilizado para IoT (Internet das Coisas) e comunicação móvel e, por se tratar de conexão direta, é possível implementar camada de segurança e privacidade, ao custo de mais dados serem transferidos. Outro protocolo que supre esta necessidade de comunicação sem fio é o ANT+, um protocolo que propõe a interoperabilidade de dispositivos. Este protocolo é orientado à transmissão ao invés de conexão. Em relação ao BLE, o ANT+ consegue menor consumo de energia (MEHMOOD; CULMONE, 2013; KHSSIBI et al., 2013; WEGHORN, 2015) e mantém uma rede de operação com outros dispositivos. Além da comunicação sem fio dos sensores vestíveis, é interessante ter uma forma de captura dos movimentos corporais, bem como os ângulos das articulações, com o intuito de extrair mais dados biométricos para o sistema computacional.

Esta captura é feita pelas câmeras de profundidade, um tipo de *hardware* que pode contribuir para o auxílio na reabilitação motora. Elas consistem em sensores infravermelhos que captam o movimento do corpo humano e exportam os dados das articulações (KITSUNEZAKI et al., 2013) para o computador. No entanto, a utilização destas câmeras para auxílio em clínicas dificilmente é utilizada devido ao seu alto custo (METSIS et al., 2013). Dispositivos portáteis vieram para solucionar esta questão, possuindo um baixo custo, portabilidade e uma confiança suficiente para reabilitação.

A grande utilidade e vantagem desse tipo de câmera é o rastreamento sem marcadores, sem precisar invadir o espaço do usuário. Isto permite utilizar o sistema de uma forma mais natural, que, aliada a um sistema de interação de linguagem natural, permite que usuários sem conhecimento de informática consigam usufruir do sistema. Esta camada entre *hardware* e *software* é fornecida pelos fabricantes dos dispositivos. No entanto, existem *software* de camada intermediária que melhoram as informações provenientes dos dispositivos de *hardware* e fornecem ao programador melhores ferramentas de interpretações dos dados.

A popularização da utilização das câmeras de profundidade ocorreu com o lançamento do MS Kinect em 2010 (um dispositivo de utilização junto ao videogame Xbox

360, com intuito de entretenimento). Porém, em novembro de 2017, a fabricação dos dispositivos Kinect foi descontinuada, dando abertura para que diversas outras empresas produzissem e fornecessem câmeras de profundidade com um viés profissional de utilização. Com dispositivos deste tipo, é possível detectar o movimento do usuário e assim verificar se os movimentos durante a reabilitação estão sendo executados corretamente (GAMA et al., 2012). Desta forma, pode-se utilizar os dados dos ângulos das articulações e verificar se a amplitude está de acordo com a reabilitação e o protocolo em questão utilizado, mostrando numericamente o progresso do paciente.

No campo de tecnologia de *software*, atualmente existem diversas áreas que complementam a saúde com novos recursos e possibilidades. A mineração de dados de sensores, aliada à inteligência artificial e à análise de imagens de radiografia, ressonâncias magnéticas e ultrassom, são áreas que podem ajudar a detectar patologias em seres humanos (BRAGAGLIA; MONTE; MELLO, 2014). Além dos avanços em algoritmos de análise, há também *software* de assistência para reabilitação e manutenção da saúde, que oferecem alternativas para o tratamento de diversas disfunções.

Dentro da inteligência artificial, a lógica *Fuzzy* (lógica nebulosa) é uma técnica que aborda a teoria da incerteza para prover um resultado mediante entradas não completas. Nesta abordagem, é necessário definir-se regras lógicas para que a inferência seja realizada. Em um determinado problema criam-se proposições e eventos, e uma resposta lógica é encontrada (RUSSEL; NORVIG, 2004). A utilização de tal lógica é interessante por permitir modelar o pensamento humano de uma forma mais natural, com tomada de decisões sobre entradas incertas, e expor os resultados em uma forma compreensível.

Uma das áreas de desenvolvimento de *software* com o campo da saúde é a utilização de jogos sérios (*serious games*) para atingir objetivos como a reabilitação. Estes jogos sérios consistem da utilização de jogos eletrônicos, e toda a sua teoria, para atingir qualquer tipo de objetivo com algum fator relevante, como ensinar, avaliar, treinar, entre outros. Na área da saúde, utilizam-se técnicas como: avatares (representação do usuário por um personagem digital), pontuação para objetivos alcançados, elementos divertidos e que provejam *feedback* em tempo real para o usuário. O intuito de utilizar tal área é a grande motivação que os jogos têm sobre as pessoas (DUARTE; POSTOLACHE; SCHARCANSKI, 2014; LOZANO-QUILIS et al., 2013);

além disso, os jogos digitais também permitem sua utilização sem conhecimento das teorias e técnicas específicas da área da saúde que integram o *software*.

Diante disso, o presente trabalho propõe uma fusão das áreas de reabilitação, *hardware* e inteligência artificial, concentrando estes conceitos em uma ferramenta única, de fácil usabilidade e com resultados confiáveis e úteis, tanto para fisioterapeutas quanto para os pacientes. O sistema é de baixo custo, abrangendo uma grande parcela do mercado alvo e não dependente de uma única patologia. Esta tarefa é realizada com uma eficiência maior através de jogos digitais utilizando níveis de dificuldade dinâmicos controlados através de uma lógica *Fuzzy*. A hipótese a ser testada é verificar se a utilização de uma ferramenta computacional, em forma de jogo interativo, tem aceitação pelos pacientes e fisioterapeutas. Espera-se que os resultados do presente estudo demonstrem alterações nos ângulos articulares e boa usabilidade pelos fisioterapeutas.

O trabalho também se destaca pela forma de utilização das tecnologias apresentadas (fusão entre sensores vestíveis e câmeras de profundidade, algo que poucos trabalhos abordaram) e a lógica *Fuzzy* (até o momento, apenas os dados eram capturados, não se realizavam análises sobre estes para dar um maior valor ao dado).

A motivação deste trabalho é a necessidade de desenvolvimento de aplicações e *frameworks* com interfaces e abordagens para públicos que não são da área de tecnologias. *Engines* (ferramentas de criação de conteúdo interativo digital, como os jogos digitais) e dispositivos de mercado possibilitam uma forma mais interativa e um uso maior dos fisioterapeutas e pacientes.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho de Mestrado é criar um sistema computacional que utiliza câmera de profundidade e sensores vestíveis integrados, para prover ao fisioterapeuta um auxílio para reabilitação motora de grandes membros. Isto é obtido utilizando jogos digitais cuja dificuldade dos obstáculos apresentados durante a atividade é controlada por uma lógica *Fuzzy*. Como objetivo secundário tem-se criar um sistema no qual o fisioterapeuta possa verificar o desempenho do paciente, de sua melhora e assiduidade e também criar e avaliar exercícios para o melhor tratamento do paciente.

1.2 PROPOSTA DO PROJETO

O presente trabalho propôs desenvolver um sistema computacional que utiliza câmera de profundidade e sensores vestíveis integrados que, por meio de uma análise e interpretação dos dados pela inteligência artificial, consiga prover reabilitação motora. Tal sistema tem uma interface local de utilização, na qual o fisioterapeuta seleciona os exercícios/jogos corretos e o sistema provê assistência para sua realização. Também existe uma interface na qual o fisioterapeuta pode verificar o desempenho do paciente, sua melhora (ou seja, uma análise quantitativa), e também gerar relatórios para visualizar todo o tratamento.

Muitos trabalhos na academia apresentam ferramentas deste tipo, com utilização de câmeras de profundidade, para auxílio na reabilitação. Este trabalho parte dessas propostas e pretende aliar inteligência artificial e sensores vestíveis para um maior significado dos dados obtidos, visto essa ser uma das limitações das propostas atuais, que concentram apenas na apresentação dos dados, e não na interpretação e análise destes. Desta forma, será possível integrar novas tecnologias que estão presentes no mercado e na sociedade.

O trabalho é dividido em duas fases. A primeira fase consiste em desenvolver e apresentar um aplicativo integrado que utiliza câmera de profundidade e sensores vestíveis. O aplicativo é desenvolvido por meio de lógica *Fuzzy* que recebe dados de entrada para análise e interpretação dos dados pela inteligência artificial e provê como saída estímulos motores conforme a necessidade do usuário (nesse caso, o paciente) para maior eficácia da reabilitação motora. O aplicativo tem uma interface local de utilização, na qual o fisioterapeuta seleciona os parâmetros (i.e., segmento corporal, tempo de jogo) para a reabilitação. O aplicativo também contará com uma interface na qual o fisioterapeuta pode verificar o desempenho do paciente, alteração na amplitude de movimento, e um módulo para visualizar o histórico do progresso do uso do aplicativo.

A segunda fase do presente trabalho visa propor o teste do aplicativo em um ambiente de reabilitação motora. Este teste apresentará dados sobre a usabilidade da ferramenta e interface em si, não da efetividade do sistema para o tratamento. O uso do aplicativo deverá ser realizado em uma clínica ou lugar apropriado que conte com uma equipe de fisioterapeutas. Os participantes do estudo devem ser seis pacientes que apresentem limitação de amplitude de movimento corporal, de origem neurológica

e/ou ortopédica. Além disso, três fisioterapeutas que farão uso do aplicativo também devem ser os participantes do estudo. Inicialmente, os fisioterapeutas receberão instruções e treinamento do pesquisador para utilizar o aplicativo.

Apesar de não estar contemplado no trabalho, uma terceira fase seria um estudo experimental (exemplo: transversal ou longitudinal) sobre a utilização da ferramenta. Estudos desta natureza conseguem verificar se os dados obtidos durante o tratamento com a ferramenta melhoram ou não a eficiência em si da reabilitação. Também é interessante a escolha de grupos de intervenção e controle, onde pode-se traçar uma relação entre o uso e não-uso da ferramenta, evitando fatores alheios aos propostos pela pesquisa.

O diagrama da Figura 1 apresenta uma visão geral da proposta do trabalho para o paciente. Nota-se, como exemplo, a câmera de profundidade tendo como saída um valor de 75 graus, o sensor vestível acusando 120 batimentos por minuto e o tempo de resposta aferido como 3 segundos. Tais dados são entradas do sistema *Fuzzy* que, após análise, pode informar como saída um nível de dificuldade “fácil”.

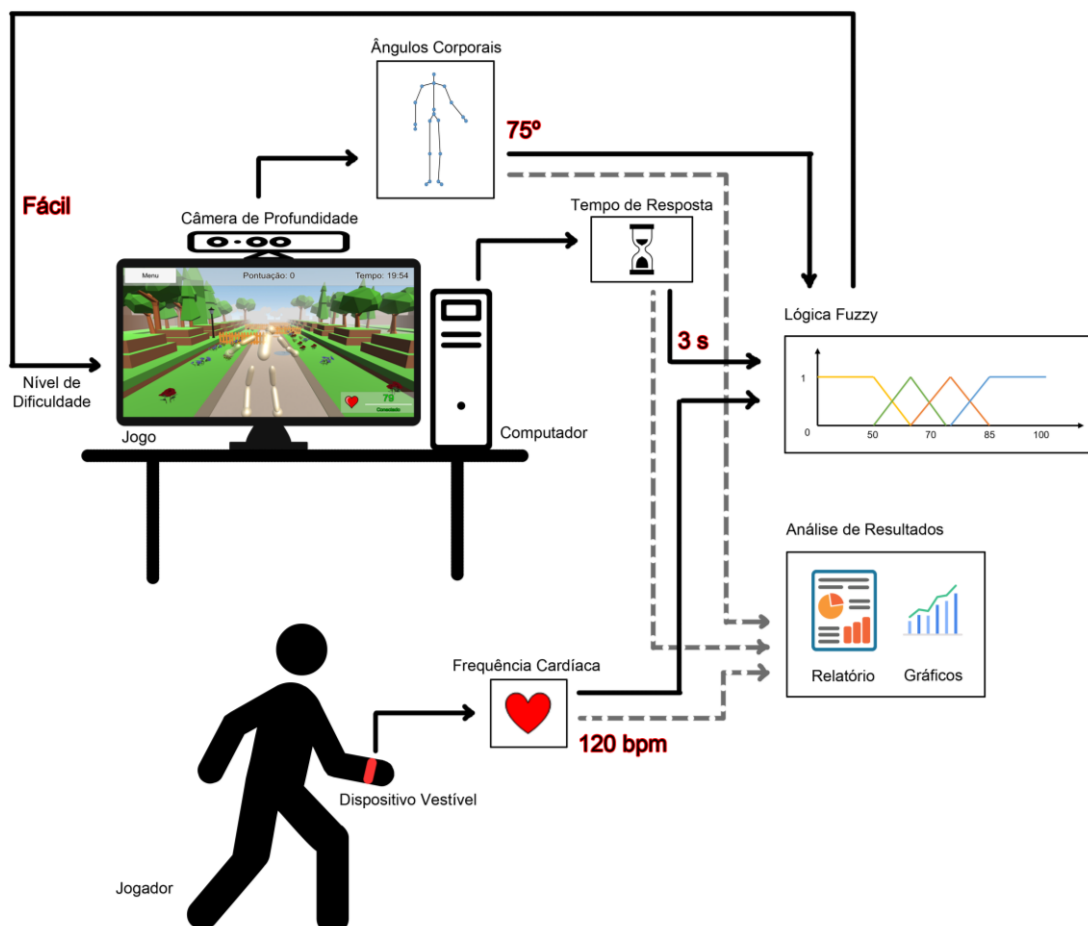


Figura 1. Diagrama da proposta do trabalho

1.3 PUBLICAÇÕES

Os resultados oriundos deste trabalho foram apresentados em dois eventos, obtendo menção honrosa no VIII PPGCC. Os eventos foram:

- XVII SBGames 2018, Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital – Workshop de Jogos e Saúde;
- VIII PPGCC 2018, Workshop do Programa de Pós-Graduação da Ciência da Computação UNESP – Menção Honrosa.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho é apresentado de acordo com os seguintes capítulos: o Capítulo 2 mostra a fundamentação teórica e os trabalhos relacionados, responsável por fazer um levantamento dos trabalhos que tratam sobre os conceitos vistos e também o que é feito na academia sobre reabilitação motora aliada à tecnologia. O Capítulo 3 mostra detalhes, a motivação e os dados necessários para a criação da ferramenta. O Capítulo 4 concentra os resultados do desenvolvimento do *software* proposto. No Capítulo 5 é apresentado o procedimento, amostras e riscos envolvidos na proposta de validação da usabilidade da ferramenta. O Capítulo 6 concentra a discussão e a conclusão sobre os dados obtidos. O trabalho tem um escopo de desenvolvimento da ferramenta, mas não dos testes de validação experimentais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo concentram-se a referência teórica e trabalhos relacionados aos temas abordados no estudo. Para a área de saúde, os tópicos de reabilitação motora de grandes membros e frequência cardíaca têm sua importância, detalhes e conceitos para utilização apresentados. Na área comportamental, a teoria de fluxo mostra como a relação entre a dificuldade e a habilidade de uma tarefa altera o comportamento da pessoa. Para a área computacional, a lógica *Fuzzy* é apresentada com todo o embasamento de seu funcionamento e em quais ambientes ela foi formulada para funcionar. O capítulo termina com trabalhos relacionados e sua importância para o presente estudo.

2.1 REABILITAÇÃO MOTORA DE GRANDES MEMBROS

A fisioterapia é uma ciência que trabalha com a reabilitação do paciente, com o intuito de manter a capacidade funcional da pessoa através de técnicas e métodos apropriados (MOURA, SILVA, 2005). Além da reabilitação física, o tratamento pode proporcionar maior dignidade e qualidade de vida aos pacientes. Em suma, a reabilitação é responsável por prevenir e compensar perda de capacidades anatômicas ou fisiológicas. Tem-se também que o exercício físico é uma das principais atividades para se atingir tais objetivos (MOURA, SILVA, 2005; FRONTERA, DAWSON, SLOVIK, 1999).

Uma doença ou patologia é uma condição anormal de alguma função do corpo, podendo ser considerada temporária, quando há retorno às funcionalidades iniciais, ou permanente, como traumatismos graves. Ao longo da vida, muitas doenças podem estar presentes em uma mesma pessoa, aumentando a incapacidade do indivíduo. Estas deteriorações, incapacidades e deficiências podem ser combatidas com a utilização de reabilitação motora (para os casos nos quais são aplicadas). A reabilitação motora realiza tratamento em patologias que afetam os grandes membros, podendo elas serem permanentes ou temporárias. Esta reabilitação muitas vezes é obtida atra-

vés de exercícios e movimentos das articulações destes membros, que incitam a regeneração muscular e melhora da funcionalidade em questão (THOMSON, SKINNER, PIERCY, 1994).

Esses movimentos articulares podem ser mensurados de forma passiva ou ativa por meio de um método convencional que verifica a amplitude de movimentos do paciente. Essa medição dos ângulos corporais é realizada por meio de um equipamento chamado goniômetro. O processo de medição é lento e requer que o paciente fique parado até que o processo seja terminado. Os ângulos dos grandes membros que este trabalho foca podem ser visualizados, juntamente com o método tradicional de medição, na Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5 (CLARKSON, 2002).

A Figura 2 exemplifica qual ângulo do complexo do ombro é o foco deste trabalho. Por possuir um grande número de estruturas e movimentos, a detecção da lesão no ombro, e seu tratamento, é de difícil avaliação. Esta articulação é tida como sinovial multiaxial, do tipo esferoide. A Figura 3 representa a articulação do cotovelo, considerada como sinovial composta, garantindo a ele dois graus de liberdade, porém, conforme mostra a figura, apenas a flexão/extensão é mensurada neste trabalho. A Figura 4 apresenta a mensuração do movimento de abdução do quadril, uma das maiores e mais estáveis do corpo. É considerada uma articulação esferoidal e multiaxial. A Figura 5 apresenta a articulação do joelho, em que serão mensuradas a flexão e extensão (MAGEE, 2005).

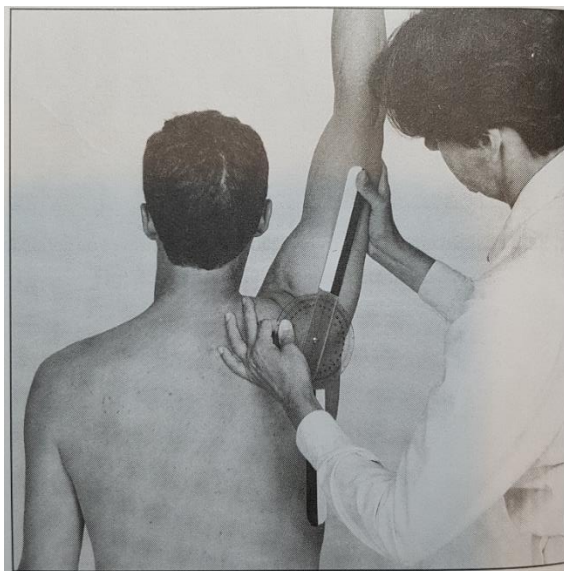


Figura 2. Ângulo para a elevação do ombro através de abdução (CLARKSON, 2002).

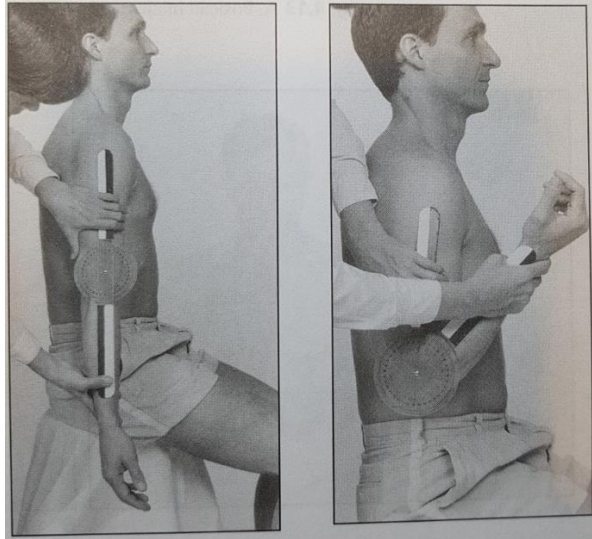


Figura 3. Ângulo da extensão / flexão do cotovelo (CLARKSON, 2002).

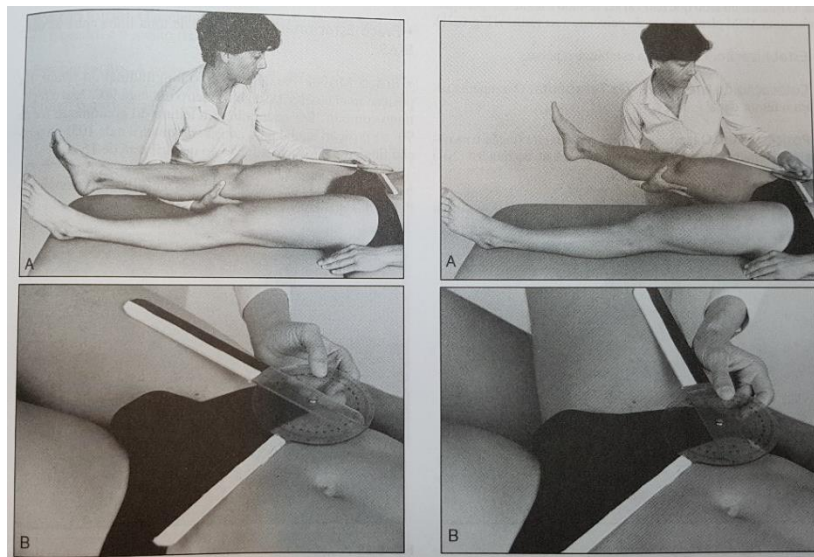


Figura 4. Medição do ângulo da abdução do quadril (CLARKSON, 2002).

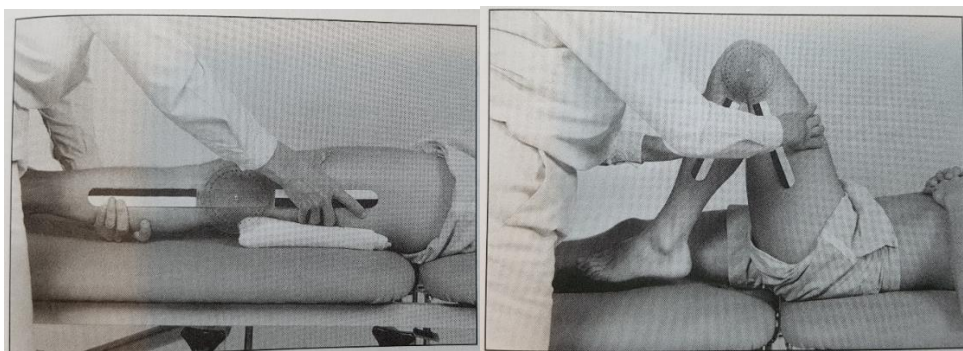


Figura 5. Ângulo de flexão / extensão do joelho (CLARKSON, 2002).

2.2 FREQUÊNCIA CARDÍACA

A frequência cardíaca informa a quantidade de batimentos que o coração humano realiza em um período de tempo. A relação entre a velocidade dos batimentos e o esforço que o corpo está sujeito é diretamente proporcional. Essa relação pode expressar zonas de intensidades de esforços as quais a pessoa está inserida (SEGERSTROM, NES, 2007).

Para o cálculo destas zonas de intensidade, o *Centers for Disease Control and Prevention* (2018), dos Estados Unidos da América, propõe uma métrica na qual a zona de conforto engloba valores até 50% da FCM (Frequência Cardíaca Máxima) como sendo a normalidade, de 50% até 70% seria a zona de intensidade física moderada, de 70% até 85% considera-se zona de intensidade física vigorosa e, acima disso, seria algo muito intenso. Para obter a FCM, Tanaka, Monahan e Seals (2001) propõem um cálculo baseado apenas na idade do participante, seguindo a equação 1:

$$\text{Frequência Cardíaca}_{m\acute{a}x} = 208 - 0.7 * \text{idade} \quad (1)$$

Por meio da equação 1, uma melhor predição é feita para todas as faixas etárias, visto que a proposta mais utilizada, que consiste em deduzir o valor da idade do número 220 (ROBERGS; LANDWEHR, 2002), não correspondia fielmente a pessoas idosas.

2.3 TEORIA DE FLUXO

A teoria de fluxo, proposta por Csikszentmihalyi (2011), mostra a relação motivacional de uma pessoa realizando determinada tarefa. Esta teoria relaciona a dificuldade de execução com a habilidade de execução. Para o presente estudo, pode ser analogamente tratada como a habilidade e a dificuldade do paciente em realizar a tarefa proposta pelo tratamento. A Figura 6 apresenta este diagrama relacional. É interessante que a relação de jogabilidade/tratamento se mantenha na área de fluxo: analisa-se a habilidade do jogador em determinado momento e adapta-se à dificuldade para que ele se mantenha motivado.

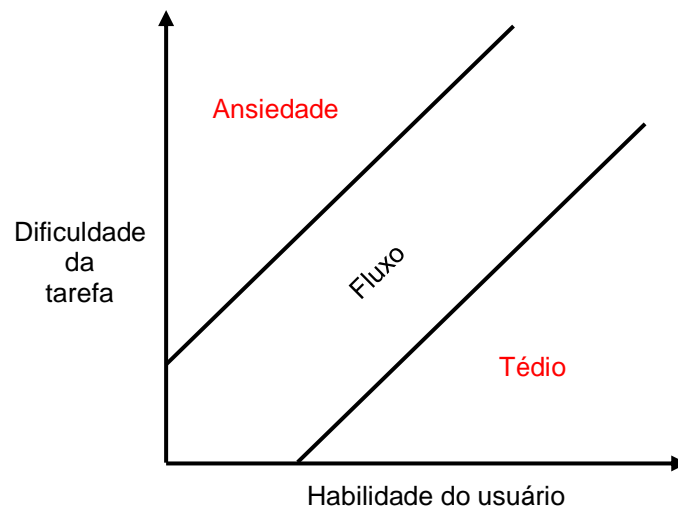


Figura 6. Diagrama de fluxo entre a habilidade do jogador e a dificuldade do jogo.

Por meio da Figura 6 pode-se perceber que há uma faixa central na qual o jogador se mantém entretido, e é a faixa alvo para manter o usuário. Ao aumentar muito a dificuldade, quando a habilidade é baixa, o jogo torna-se pouco motivador, cria-se muita ansiedade. Ao se ter muita habilidade, e a dificuldade baixa, o jogo fica tedioso. Assim, é necessário balancear dinamicamente esta dificuldade com a habilidade do jogador em questão.

2.4 LÓGICA FUZZY

A lógica *Fuzzy* é uma estratégia pertencente à Inteligência Artificial e é utilizada para a automação da tomada de decisões sob um ambiente com incertezas. É também chamada de lógica nebulosa ou lógica de incerteza. Quando um agente lógico (que atua no ambiente) não possui a descrição completa do ambiente, ou não conhece fatos suficientes, é interessante que ele derive planos de ações que o permitam agir neste ambiente. Para isto, a lógica *Fuzzy* trabalha com estes casos e permite obter uma decisão racional sob estas incertezas (RUSSEL; NORVIG, 2004).

Para que esta decisão seja atingida, utiliza-se da lógica da incerteza, com graus de pertinência. A pertinência expressa o quão possível é um agente aceitar uma crença (informações prévias fornecidas a ele, porém com grau de verdade – não é mais apenas verdadeiro ou falso). Assim, cada proposição inicial possui um grau possível e, quando o agente consulta a distribuição conjunta destas proposições, ele consegue respostas para consultas pontuais (RUSSEL; NORVIG, 2004).

O diagrama de funcionamento da lógica *Fuzzy* pode ser visualizado na Figura 7. Este diagrama mostra as três principais etapas: a “fuzzificação”, responsável por modelar os dados de entrada para a lógica proposta; a “Inferência” juntamente com as “Regras *Fuzzy*” representam a análise dos dados, verificando o nível de pertinência de cada dado em determinada situação e; a “defuzzificação”, que é responsável por obter um valor final de todos os dados de entrada e atribuir o seu valor semântico e apresentá-lo como resposta.

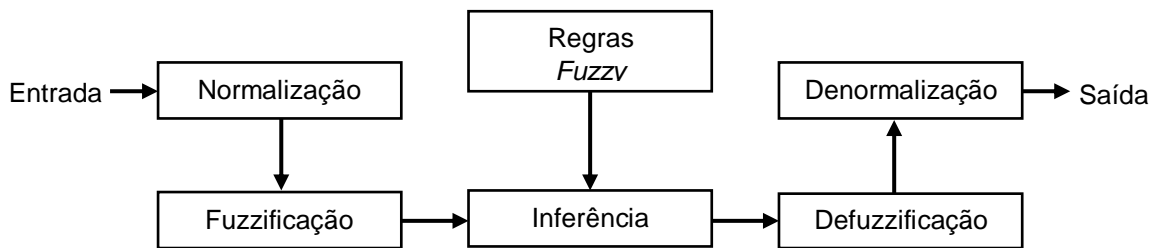


Figura 7. Diagrama de funcionamento da lógica *Fuzzy* (Adaptado de Esfahlani et al, 2017).

O processo de “fuzzificação” é responsável por atribuir os graus de certeza de determinada variável no sistema. A representação de determinada condição semântica em um trecho de atribuição pode ser expressa por uma curva: gaussiana, triangular, trapezoidal, crescente e decrescente. A Figura 8 apresenta um exemplo, proposto pelo autor do texto, de distribuição de uma variável (IMC: Índice de Massa Corporal) sobre o eixo total de variação. Os valores obtidos de transição são descritos no trabalho de Oliveira et al. (2012) e propostos pela Organização Mundial da Saúde.

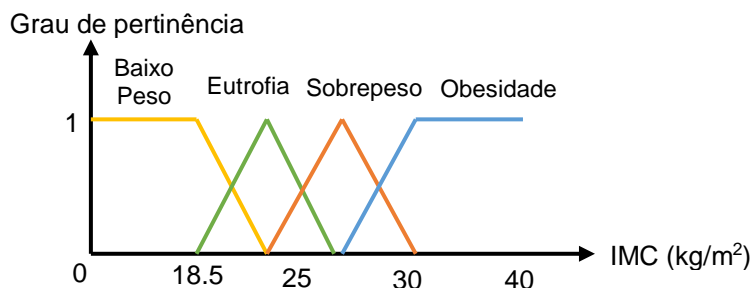


Figura 8. Exemplo de fuzzificação da variável IMC.

A Figura 8 permite perceber que eixo responsável pelo IMC varia entre 0 a 40, sendo a representação da condição através de curvas triangulares e trapezoidais. A essência da interpretação da lógica *Fuzzy* é que, agora, se alguém tem um IMC de

23, ele não está exatamente na região de eutrofia, mas possui um maior grau de pertinência de estar na região de eutrofia, e um baixo grau de pertinência de estar na região sobrepeso.

Quando um sistema possui mais de uma variável mapeada é necessário atribuir regras para saber a interação entre essas variáveis e a saída. Essa manipulação de regras informa se o grau de certeza de uma variável influencia mais que a outra para que a decisão seja tomada. O processo final de defuzzificação concentra todas essas regras, abstrai um formato geométrico final da influência de cada variável de entrada, e extrai um resultado através de algumas técnicas, como o centro de gravidade, o centro de área, a média, entre outras (RUSSEL; NORVIG, 2004).

2.5 ENGINE PARA JOGOS DIGITAIS

As *engines* para jogos são ferramentas computacionais que provêm um *framework* para seu desenvolvimento. Elas permitem adicionar ao desenvolvimento diversos tipos de tecnologias, como inteligência artificial e comunicação *online* (vários jogadores e comunicação com servidores), além de permitir o uso de imagens de alta definição e objetos digitais 3D ou 2D, e utilizam programação de alto nível, como orientação a objetos (XIE, 2012).

Diversas *engines* existem no mercado, algumas de uso próprio de desenvolvedoras, e outras abertas ao mercado comercialmente. A escolha da *engine* para um projeto difícil devido às funcionalidades diferentes de cada ferramenta. O trabalho de Ali e Usman (2016), mostra uma maneira de selecionar uma boa *engine* para aplicações de gamificação (conceito utilizado quando se converte uma tarefa para ser realizada através de *games*) e jogos sérios.

A Unity3D é uma *engine* para pequenos e médios desenvolvedores e popularizou-se por permitir um desenvolvimento rápido e integrado entre várias tecnologias, além de possibilitar a distribuição em várias plataformas, como iOS, Android, WebGL, Standalone (Windows, MacOS e Linux), entre outras (XIE, 2012). Cowan e Kapralos (2014), apontam que a Unity3D é a *engine* mais utilizada para jogos sérios nos estudos encontrados em seu trabalho. A escolha da *engine* também teve caráter pessoal devido à experiência e certificação de desenvolvedor do autor.

2.6 BIOMETRIA

A biometria é responsável por extrair características e comportamentos de seres humanos por meio de sensores e enviar tais dados para dispositivos eletrônicos. É possível identificar indivíduos únicos por meio de leituras de impressões digitais, íris, retina, entre outros, e também aspectos não únicos, como geometria corporal e facial e voz (KUKULA, et al. 2010). A biometria também possibilita extrair informações fisiológicas das pessoas, como pressão arterial, batimento cardíaco e peso.

Existem diversos meios e dispositivos diferentes de captura destes dados corporais. A seleção do *hardware* depende dos requisitos do projeto e necessidades do público-alvo. Além disso, é possível integrar diferentes dispositivos para aumentar a qualidade da informação e permitir ter uma melhor análise dos dados (VEERAMA-CHANENI e OSADCIW, 2009).

No entanto, os sensores biométricos carecem de uma boa ergonomia e interface com o computador. Além disso, muitas pessoas podem não possuir a característica a ser mensurada, ou tal característica pode mudar ao longo do tempo (características físicas) ou o próprio ambiente pode comprometer as medidas. A usabilidade e a ergonomia do dispositivo são responsáveis pelo uso contínuo destes e por permitir uma posterior análise dos dados (KUKULA e ELLIOTT, 2006).

2.7 TRABALHOS RELACIONADOS

A questão da qualidade de vida dos seres humanos sempre foi de suma importância no decorrer da história. Aliar tecnologias com a reabilitação motora e cognitiva é uma das áreas em crescente desenvolvimento e permite resultados inovadores. Os estudos apontados nesta seção são frutos de um trabalho anterior realizado durante o período de mestrado. Tal trabalho consiste em uma revisão sistemática que aborda o tema do MS Kinect a reabilitação motora.

2.7.1 Tecnologias e saúde

Existem possibilidades das mais variadas de usos de tecnologia com este intuito. O trabalho de Kultsova, Matyushechkin e Usov (2017) propõe a utilização de um sistema *web* com diagnósticos *on-line* e aplicação móvel para uma interação visual

para reabilitação de crianças autistas. Lin, Chen e Hsu (2017) analisam a utilização de dispositivo de captura de movimento manual, um eletroencefalograma e jogo de realidade virtual para a reabilitação de membros superiores de pacientes após AVC (Acidente Vascular Cerebral).

Com relação a tecnologias imersivas, o trabalho de Folgieri e Lucchiari (2017) propõe a melhora física e psicológica de reabilitação através da utilização de sensores vestíveis e um ambiente 3D imersivo, no qual o usuário teria seu tempo de reabilitação reduzido. Holloway e Dawes (2016) visualizam o futuro da reabilitação como sendo totalmente dependente da tecnologia, em que o paciente busca sistemas de uso doméstico para diagnóstico, monitoramento, prescrição e ações individualizadas. Tal visão mudaria o papel dos terapeutas para um gerente do que está sendo executado. Hoermann et al. (2015) analisaram a utilização de um espelho computadorizado com o reflexo do paciente aliada a dados de realidade aumentada para permitir a reabilitação de pacientes de AVC em momentos cotidianos.

Utilizar robótica e tecnologias sobre o corpo é outra área de atuação da tecnologia na reabilitação. Mahamud e Anuar (2014) analisaram a utilização de dispositivos robóticos para auxiliar a reabilitação de membros inferiores de crianças com paralisia cerebral. Lipovsky e Ferreira (2015) trataram de reabilitação das mãos em pacientes de AVC através de sensores vestíveis (luva robótica) e jogos digitais. O trabalho de Keller et al. (2006) estudar o uso de estimulação elétrica transcutânea para tratamento de músculos atrofiados. Tal proposta permite a variação em tempo real da estimulação e também não limitada a uma área específica. Merletti e Farina (2016) propõem em seu livro a utilização de eletromiografia de superfície para fazer uma interface homem-máquina intuitiva que permita alterar as configurações de reabilitação e outras tecnologias.

Apesar das diversas tecnologias e formas de utilização com a reabilitação, tem-se a necessidade de focar em certos pontos para criar sistemas eficazes. Com a reabilitação motora de grandes membros em mente, buscam-se dispositivos e tecnologias não invasivas e motivadoras para o paciente e fisioterapeuta.

Os trabalhos de Tao, Archambault e Levin (2013), Webster e Celik (2014), Fernández-Baena, Susín e Lligadas (2013), Scano et al. (2014), Chang et al. (2012) e Capecci et al. (2016) mostram que os dispositivos de rastreamento de esqueleto de baixo custo, como o Microsoft Kinect, possuem capacidade tecnológica para prover

uma captura boa o suficiente para ser aplicada em procedimentos de reabilitação motora, principalmente de grandes membros, como membros superiores e inferiores. Isto traz uma possibilidade para o mercado produzir sistemas para o usuário final, onde o custo do equipamento é baixo em relação ao tratamento, diferentemente de equipamentos de alta precisão.

2.7.2 Inteligência artificial em sistemas para saúde

Mazumder et al. (2017) mostraram uma utilização de lógica *Fuzzy* e câmera de profundidade para pontuar a postura de pacientes de AVC. Tal sistema não necessita de intervenção manual de um fisioterapeuta e provê dados mensuráveis da melhora. A lógica *Fuzzy* trabalha com dados de entrada como a duração da pose do membro, o índice de vibração (sobre vinte articulações) e a variação do centro de massa, fornecendo como saída um valor de pontuação.

O trabalho de Zhang, Miao e Yu (2017) mostrou um sistema que, através de lógica *Fuzzy*, consegue encontrar um nível adaptado do jogo para idosos. Este sistema monitora os limites funcionais do paciente e a proposta do nível atual do jogo utilizado para, então, propor um nível adaptado que melhor supra a necessidade do usuário. No âmbito do jogo são analisados quesitos como espaço de jogo, som, visual e cognição; para o paciente são analisadas as limitações físicas, de cognição e de percepção.

2.7.3 Sistemas de reabilitação

Já Bamrungthai e Pleehachinda (2015), Lozano-Quilis et al. (2013), Postolache et al. (2015) e Pei et al. (2016) mostraram aplicações através de jogos digitais que trazem jogos em conjunto com as câmeras de profundidade para reabilitação motora, e concluem que é de grande valia para a motivação, acessibilidade e utilização dos pacientes. A sinergia entre o entretenimento e a reabilitação através dos jogos permite tratar de um assunto sério através de algo descontraído, que permita, principalmente a pacientes com patologias crônicas, a utilização contínua e motivadora da ferramenta.

Um sistema de reabilitação é proposto por Esfahlani et al. (2017). Nele tem-se câmera de profundidade juntamente com dispositivos de captura de dados corporais

que, analisados sobre uma lógica *Fuzzy*, produz um *exergame* (jogos digitais que utilizam o exercício físico como base para sua execução, possui gasto calórico) compatível com o paciente em questão. A lógica *Fuzzy* captura os dados do primeiro jogo e os transporta para os próximos jogos, mudando as intensidades e limites de cada jogo.

Sistemas computacionais que englobam reabilitação, análise de dados e utilização de câmeras de profundidade podem ser encontrados em Duarte, Postolache e Scharcanski (2014), Postolache et al. (2015) e Huang (2011), nos quais são apresentados sistemas computacionais que utilizam tecnologias como: Unity3D, C# e Kinect; ou também Servidores Web, aplicativos móveis e *engine* para jogos; ou ainda tecnologias como base de dados integrada, instrução por vídeo e áudio e câmeras de profundidade. Tais sistemas contribuem para a qualidade de vida do paciente e também como ferramenta de assistência ao fisioterapeuta. A questão computacional promove uma possibilidade de fiscalização e acompanhamento quantitativa que raramente é aplicada em tratamentos convencionais.

2.7.4 Análise sobre os trabalhos

Após análise do autor sobre estes trabalhos, vê-se que muitos estudos concentram na prova de conceito e não tratam da forma de mostrar os dados levantados para o usuário do sistema. Tais estudos comprovam a aplicabilidade e utilização das tecnologias, mas o sistema é de difícil utilização. Os sistemas computadorizados permitem o tratamento quantitativo de dados, provendo uma progressão estatística dos pacientes, e também uma maior motivação, por possibilitar o uso de avatares e características de jogos digitais, principalmente importante para pessoas com patologias crônicas, que precisam fazer reabilitação por um longo período. Fica evidente a necessidade de desenvolvimento de aplicações e *frameworks* com interfaces e abordagens para públicos que não são da área de tecnologias. *Engines* (ferramentas de criação de conteúdo interativo digital, como os jogos digitais) e dispositivos de mercado possibilitam um *feedback* mais interativo e um uso maior dos fisioterapeutas e pacientes.

A Tabela 1 concentra as propostas dos trabalhos relacionados e faz uma comparação com a proposta do presente estudo. É possível visualizar os focos de estudo destes trabalhos e como carecem de prover uma ferramenta completa sobre os aspectos abordados. Alguns itens possuem maior especificidade devido à necessidade

3 SISTEMA PROPOSTO

A metodologia de desenvolvimento da primeira etapa deste trabalho (*software*) segue o fluxograma da Figura 9 para descrever os passos principais em questão. As “necessidades da reabilitação motora” consistem em verificar quais pontos necessitam de um auxílio computacional para que o resultado seja mais efetivo. A “análise de *hardware*” faz uma busca no mercado e academia sobre tecnologias que possam suprir o esperado. A “utilização da lógica *Fuzzy*” visa analisar teorias e abordagens computacionais que façam, através do *hardware*, uma reabilitação mais eficiente e com dados mais significativos. O “projeto de *software*” condensa os dados pesquisados em uma interface computacional que abranje as necessidades levantadas através de jogos digitais.

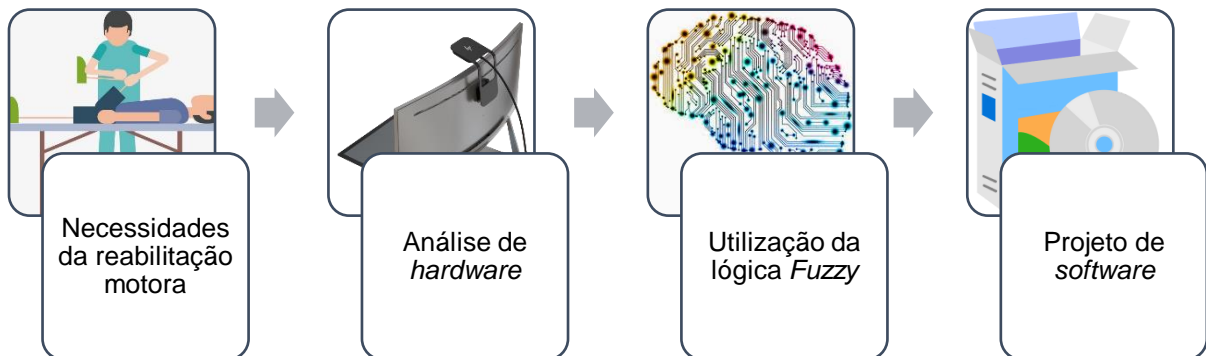


Figura 9. Fluxograma de desenvolvimento da ferramenta.

Cada tópico será aprofundado a seguir, dando uma visão sobre quais as alternativas, tecnologias e teorias existentes, e qual abordagem foi seguida para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 NECESSIDADES DA REABILITAÇÃO

A área da fisioterapia, em foco a reabilitação motora, carece de ferramentas que possam auxiliar sua aplicação com alta motivação e resultados. As ferramentas tecnológicas precisam suprir a necessidade de serem utilizadas com diversas lesões

ou patologias diferentes, sendo até mesmo possível adicionar novos movimentos (que tratem diversas patologias) futuramente pelo próprio usuário. Outro ponto é a necessidade de uma ferramenta de baixo custo, de fácil mobilidade e que possa abranger um grande número de pessoas em lugares distantes e de todos os níveis sociais.

Em relação aos pacientes, uma das necessidades é uma interface natural, ou que permita facilmente idosos, analfabetos e pessoas que não têm contato com tecnologia a utilizarem. A linguagem natural (onde o usuário consegue interagir com a ferramenta sem previamente conhecê-la, utilizando formas naturais de interação, como a fala, os gestos, etc.) é a opção ideal para atingir a população em geral. A didática também é importante, pois a utilização varia desde crianças e adultos até idosos. As consultas foram realizadas junto à fisioterapeutas de convívio do autor.

Com relação à necessidade de motivação para a reabilitação constante de pacientes crônicos, faz-se imprescindível uma ferramenta que foque em manter o paciente em constante tratamento. O estudo de Carmody et al. (1980), indica que há um alto índice de pacientes que desistem do tratamento fisioterapêutico nos primeiros três meses, por questões psicológicas e, além de fatores pessoais, falta de motivação no tratamento.

3.2 ANÁLISE DE HARDWARE

Para a realização do projeto, são necessários equipamentos de *hardware* diferentes para captura e análise dos dados biométricos dos pacientes. As câmeras de profundidade são responsáveis pela captura dos movimentos, sons e imagens. Os sensores vestíveis recebem os dados biométricos e, por meio de um algoritmo, fornecem dados extras (como gasto calórico). Para a conexão dos sensores vestíveis é necessário um adaptador que permita a comunicação do protocolo sem fio escolhido. A seguir serão detalhados os principais equipamentos de *hardware* escolhidos para o desenvolvimento da ferramenta.

3.2.1 Câmera de profundidade

A reabilitação motora trabalha sobre movimentos dos membros de acordo com um protocolo escolhido pelo fisioterapeuta. Fica necessária a captura destes movimentos pela ferramenta tecnológica para que se verifique se os movimentos estão de

acordo com o esperado e quais foram as amplitudes dos movimentos do paciente durante a sessão.

As câmeras de profundidade são dispositivos de *hardware* que captam os movimentos dos usuários. Seu funcionamento consiste em um projetor de raios infravermelhos e uma câmera que captura os reflexos destes raios quando colidem com algum objeto. Após a captura os dados são enviados a um processador (em *hardware*) e, logo após, enviado ao computador, onde é interpretado pelo SDK (*Software Development Kit* – kit de desenvolvimento do *software*) do fabricante e disponível aos desenvolvedores das aplicações.

Atualmente o mercado conta com quatro principais câmeras de baixo custo: a VicoVR, que é a alternativa visando dispositivos móveis, e custa USD\$ 400; a Orbbec Astra Pro, com foco em computadores de mesa e portáteis, custando USD\$ 150, a Stereolabs ZED, com uma técnica diferente de captura, através de duas câmeras RGB simulando o olho humano, com custo de USD\$ 450 e a Intel RealSense, com foco em curto espaço (captura de mãos), ao custo de USD\$ 180. Também há disponível um *framework* que utiliza as câmeras disponíveis em computadores, mas requer um alto poder de processamento e ainda não possui estudos sobre sua precisão, além de possuir um alto custo, de USD\$ 25000 por ano. A escolha de uma câmera em particular sobre as outras pode ter sua característica de compatibilidade compensada ao se utilizar um SDK intermediário que receba as informações de diversos modelos e forneça os pontos igualmente, compensando eventuais pontos fracos.

Como elucidação, as primeiras câmeras de profundidade foram propostas pela Microsoft através de seu videogame Xbox 360 e, posteriormente, Xbox One. Apesar de estarem presente em diversas casas como meio de entretenimento, a Microsoft descontinuou a produção de suas câmeras em outubro de 2017, impossibilitando o uso destas câmeras para projetos comerciais futuros.

Neste projeto é utilizada a câmera Astra Pro, da Orbbec, representada na Figura 10. Esta escolha deve-se à confiabilidade de sua captura, à compatibilidade com SDK's intermediários, à sua facilidade de aquisição no mercado e ao seu baixo preço. Suas características principais são listadas a seguir:

- Alcance: 0.6 – 8 metros;
- Resolução da imagem de profundidade: 640 * 480 @ 30 FPS;
- Resolução da imagem RGB (cores): 1280 * 720 @ 30 FPS;

- Campo de visão: 60° na horizontal, 49.5° na vertical e 73° na diagonal;
- Número de microfones: 2;
- Interface de comunicação: USB 2.0 e;
- Sistemas operacionais suportados: Windows, Linux e Android.



Figura 10. Câmera Astra Pro, da Orbbec.

3.2.2 Captura dos ângulos corporais

A captura dos ângulos corporais pelo *hardware* escolhido é fornecida a uma taxa de até 30 vezes por segundo, o que é suficiente para movimentos de reabilitação de grandes membros – estudos que precisam capturar movimentos de atletas de alto desempenho possivelmente precisam de uma taxa de captura maior.

Através do SDK fornecido pelo *hardware* da câmera de profundidade, pontos (referentes às articulações) no espaço 3D são apresentados à ferramenta. Tais pontos são dispostos sobre um avatar (personagem digital), que pode ser visualizado, juntamente com suas articulações que serão mensuradas, na Figura 11.

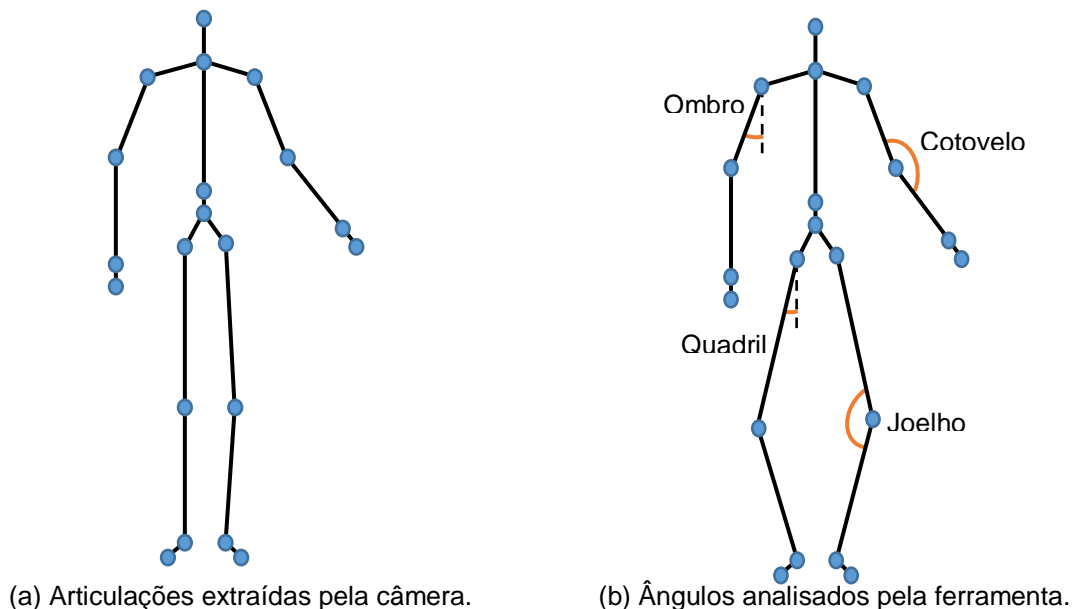


Figura 11. Avatar visualizado com suas articulações.

Para o cálculo do ângulo entre as articulações será realizado um cálculo entre dois pontos e um vértice (ponto de interesse). As equações 2 e 3 apresentam os vetores 1 e 2, calculados sobre a diferença do ponto em questão com o vértice do ângulo. As equações 4 e 6 apresentam o cálculo da magnitude dos vetores calculados anteriormente. As equações 5 e 7 apresentam a normalização da magnitude calculada. Assim, tem-se a seguinte manipulação matemática:

$$Vetor_1 = \{Ponto_1.x - Vértice.x; Ponto_1.y - Vértice.y; Ponto_1.z - Vértice.z\} \quad (2)$$

$$Vetor_2 = \{Ponto_2.x - Vértice.x; Ponto_2.y - Vértice.y; Ponto_2.z - Vértice.z\} \quad (3)$$

$$Vetor_{1magnitudo} = \sqrt{Vetor_1.x^2 + Vetor_1.y^2 + Vetor_1.z^2} \quad (4)$$

$$Vetor_{1normalizado} = \left\{ \frac{Vetor_1.x}{Vetor_{1magnitudo}}; \frac{Vetor_1.y}{Vetor_{1magnitudo}}; \frac{Vetor_1.z}{Vetor_{1magnitudo}} \right\} \quad (5)$$

$$Vetor_{2magnitudo} = \sqrt{Vetor_2.x^2 + Vetor_2.y^2 + Vetor_2.z^2} \quad (6)$$

$$Vetor_{2normalizado} = \left\{ \frac{Vetor_2.x}{Vetor_{2magnitudo}}; \frac{Vetor_2.y}{Vetor_{2magnitudo}}; \frac{Vetor_2.z}{Vetor_{2magnitudo}} \right\} \quad (7)$$

Utilizando as equações anteriores, pode-se obter o resultado do ângulo entre os pontos 1 e 2, com vértice V através da equação 8, a seguir:

$$\theta = \arccos \left(\frac{Vetor_{1normalizado}.x * Vetor_{2normalizado}.x + Vetor_{1normalizado}.y * Vetor_{2normalizado}.y + Vetor_{1normalizado}.z * Vetor_{2normalizado}.z}{Vetor_{1magnitudo} * Vetor_{2magnitudo}} \right) \quad (8)$$

A Figura 12 mostra como tais ângulos são apresentados ao usuário, sendo divididos entre o lado corporal esquerdo e direito, e sobre a parte superior e inferior. Os campos contendo o valor máximo e mínimos são salvos quando o usuário desejar, para uma posterior comparação. Também é possível reiniciar a medição destes valores através de um botão específico.

Para cada ângulo medido, são apresentados os valores instantâneos (que podem apresentar o símbolo “---”, representando que aquele ângulo não está sendo capturado no momento) e os valores máximos e mínimos obtidos durante a avaliação.



Figura 12. Interface de apresentação dos ângulos corporais para o usuário da ferramenta.

3.2.3 Sensor vestível

Além da captura dos movimentos, é necessário capturar também dados fisiológicos dos pacientes para poder entender as necessidades pessoais e prover soluções melhores e personalizadas. Os sensores vestíveis trazem uma grande possibilidade de tratamento individualizado ao se mensurar dados biológicos e adaptar o tratamento para cada corpo. Sua tecnologia de comunicação sem fio permite uma maior comodidade e execução dos exercícios/atividades sem restrições.

O mercado atualmente possui centenas de fabricantes e modelos diferentes, desde relógios, pulseiras, cintas e dispositivos auriculares. A gama de grandezas mensuradas também é muito grande, englobando informações como frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura, movimentação corporal e diversas outras.

Para o presente estudo, apenas a frequência cardíaca é obtida, por se tratar de uma variável de rápida captura e importante informação para o tratamento. Neste projeto escolheu-se o Armband Rhythm+, da Scosche, mostrado na Figura 13, devido à sua alta confiabilidade de captura, sua possibilidade de funcionamento em meio ao suor e seu baixo custo. Seu funcionamento de captura é através de um emissor e receptor óptico, que, ao enviar um sinal, este sinal reflete no fluxo sanguíneo, e

quando o sinal volta o tempo decorrido é contabilizado para mensurar os batimentos cardíacos. As características principais deste equipamento são listadas a seguir:

- Sensor de frequência cardíaca óptico;
- Resistente à água e poeira: IP67;
- Conexão sem fio: ANT+ e Bluetooth LE e;
- Duração da bateria: 8 horas.



Figura 13. Pulseira de monitoramento cardíaco Rhythm+, da Scosche.

3.2.4 Comunicação ANT+

Como a reabilitação motora trabalha com movimentos constantes, se faz necessário que sensores utilizados em um sistema computacional não sejam invasivos. Ao utilizar sensores vestíveis, a comunicação destes com o computador deve ser sem fio, para minimizar desconfortos e prevenir problemas de fios atrapalharem e impossibilitarem movimentos necessários.

Um protocolo de comunicação sem fio define as regras a serem seguidas para que informações passem entre os sensores e o sistema computacional. No mercado existem dois principais protocolos de comunicação, o ANT+ e o BLE (*Bluetooth Low Energy*). O BLE está presente em todos os dispositivos móveis (telefones celulares) e compreende vários *smart watches*. Sua comunicação é ponto a ponto (requerendo conexão prévia). O ANT+ está disponível na maioria dos dispositivos de esporte de alto desempenho, possuindo várias ferramentas de captura de dados corporais. Sua comunicação é por meio de *broadcast* (sem conexão explícita).

A comunicação ANT+ foi escolhida pela facilidade de transmissão, sem necessitar de pareamento, sua alta taxa de transferência de dados e pelo baixo consumo

de energia de seus dispositivos. Para realizar a comunicação através do protocolo ANT+, é necessário um equipamento de *hardware* que permita essa conexão. Por se tratar de um padrão fixado por empresas de tecnologia esportiva, um adaptador ANT+ da Garmin foi utilizado. Tal adaptador pode ser visualizado na Figura 14. Nota-se que tal adaptador segue o padrão USB2, que permite a conexão ANT+ utilizar 8 canais de transferência de dados (cada canal é responsável por enviar uma informação diferente, como por exemplo a frequência cardíaca).



Figura 14. Adaptador ANT+ USB2 da Garmin.

3.2.5 Sensor vestível e frequência cardíaca

A conexão com os sensores vestíveis foi realizada através do protocolo ANT+. Para se desenvolver neste protocolo é necessário o cadastro no site “This Is Ant” (gerenciado pela Dynastream Innovations Inc.) para receber uma chave de rede (no caso uma chave pública, a chave privada é fornecida apenas mediante pagamento anual). Para se conectar, primeiro é feita uma busca nas redondezas por sensores do tipo ANT+. Como cada sensor propaga seu sinal juntamente com seu tipo de função, apenas sensores de frequência cardíaca são filtrados e mostrados ao sistema. Uma vez que um sensor é encontrado, conecta-se a ele (o primeiro encontrado é o sensor conectado).

A captura da frequência cardíaca é obtida através do sensor vestível e mostrada ao usuário em tempo real. Para uma melhor visualização de sua importância, existem zonas de frequência cardíaca, baseadas na idade do paciente, que mostram o nível de esforço que o paciente está sendo submetido. Assim, o *software* desenvolvido mostra os dados de frequência cardíaca seguindo uma coloração específica para cada zona, referenciando sua importância para o exercício. A Figura 15 mostra como essa informação é passada ao usuário. Os níveis de intensidade são parte da entrada

do sistema *Fuzzy* que interpretará a dificuldade que o paciente está sentindo em determinado jogo ou exercício.

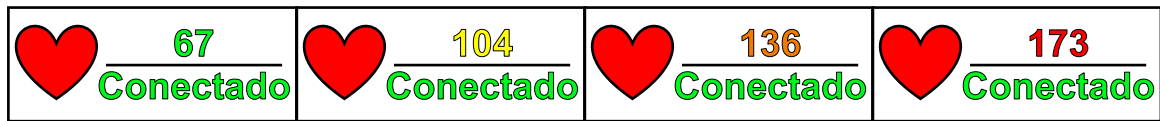


Figura 15. Níveis de intensidade física e valor absoluto da frequência cardíaca.

3.3 UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY

Por meio da computação pretende-se atribuir maior valor e importância aos dados capturados, além de permitir uma interpretação destes dados que seres humanos têm dificuldade em perceber. A utilização de uma lógica *Fuzzy* permite obter dois tipos de informações importantes:

1. O primeiro é fazer um vínculo entre as limitações do paciente, tanto físicas quanto cognitivas, e os objetivos almejados pelos exercícios e jogos. Quando um paciente não consegue, por limitação de movimento, alcançar determinado alvo proposto, a sensação deste paciente é ruim, de forma que sua motivação cai. Através da utilização da lógica *Fuzzy*, pode-se criar um nível adaptado que permite cada pessoa ter seus objetivos personalizados, mantendo o fluxo.
2. O segundo tipo é o fornecimento de informações semânticas sobre a alta quantidade de dados biométricos obtidos pelos sensores.

Com foco no primeiro tipo de informação a ser extraída pela lógica *Fuzzy*, para se obter um nível de dificuldade adaptativo, respeitando a teoria de fluxo e mantendo a motivação do paciente, utilizou-se como variáveis de entradas para modelagem: limitação angular para determinado movimento, frequência cardíaca e tempo de resposta (tempo entre o paciente ver o objetivo, iniciar e terminar a ação – tempo de reação e tempo de movimento somados) da execução anterior. Estas variáveis estão dispostas da seguinte forma:

- Limitação angular = { **ND** (nenhuma deficiência), **DL** (deficiência ligeira), **DM** (deficiência moderada), **DG** (deficiência grave), **DC** (deficiência completa) }

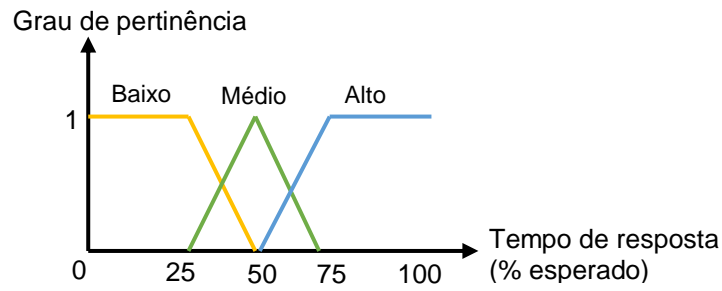
- Frequência cardíaca = { **N** (normalidade), **IFM** (intensidade física moderada), **IFV** (intensidade física vigorosa), **MI** (muito intenso) }
- Tempo de resposta = { **B** (baixo), **M** (médio), **A** (alto) }

O tempo de resposta possui seus grupos de disposição com valores relacionais e propostos pelo autor do trabalho, ou seja, o tempo de resposta é tido como baixo com relação ao tempo de resposta esperado pela tarefa. Os grupos da limitação angular são categorias presentes no CIF (Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde) de 2004. Os grupos de frequência cardíaca são referentes aos propostos pelo *Centers for Disease Control and Prevention* (2018). Os valores esperados normalizados para estas variáveis podem ser vistos na Figura 16, que representa a fuzzificação das variáveis.

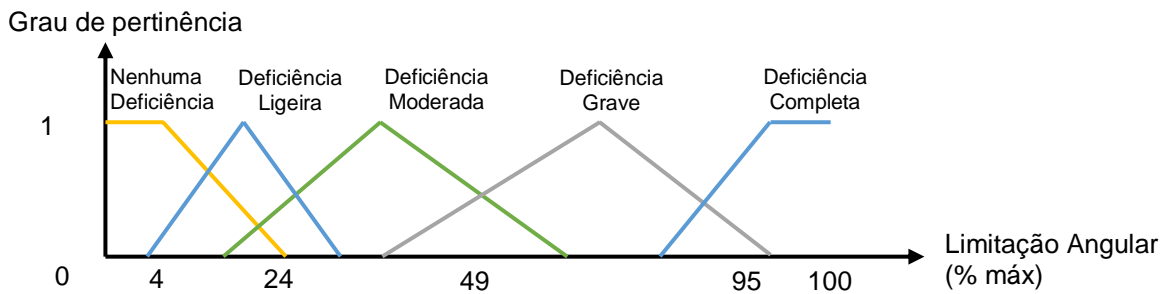
A variável de saída representa o nível de dificuldade apresentado ao paciente em determinada tarefa/jogo. O valor de resposta influenciará, por exemplo, a posição vertical/horizontal de determinado alvo que o paciente precisa selecionar. A sua disposição se dá pela seguinte maneira:

- Nível de dificuldade = { **MF** (muito fácil), **F** (fácil), **M** (médio), **D** (difícil), **MD** (muito difícil) }

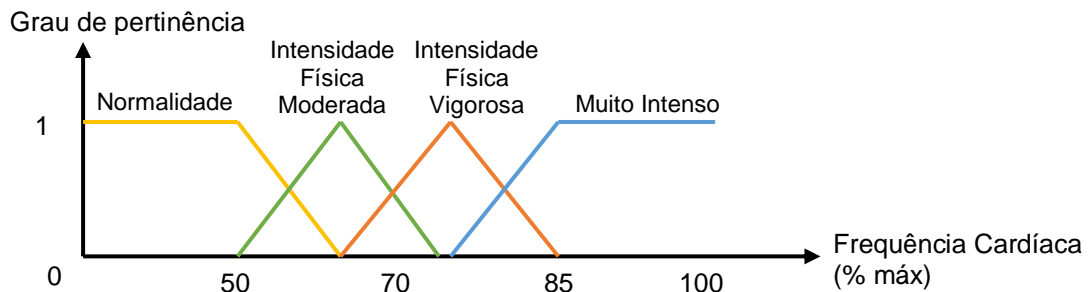
A fuzzificação do nível de dificuldade pode ser visualizada na Figura 17, e seus valores de saída, propostos pelo autor do trabalho, também são proporcionais à tarefa proposta. Limitantes são propostos para cada desafio da tarefa e, com o valor da saída da lógica *Fuzzy*, é escolhida a posição em que ele será disposto.



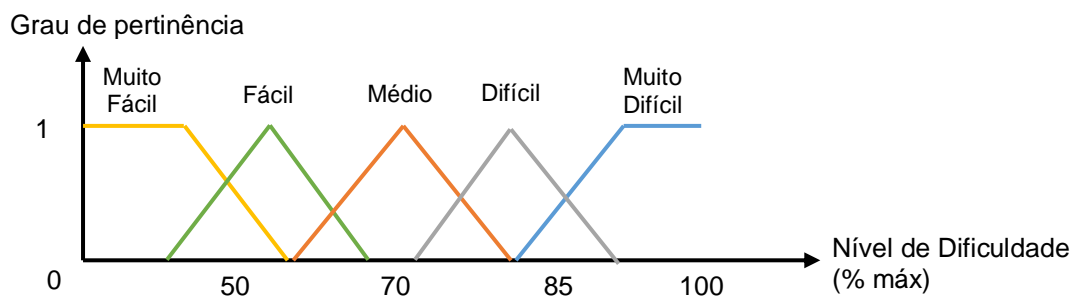
(a) Gráfico de fuzzição do tempo de resposta.



(b) Gráfico de fuzzição da limitação angular



(c) Gráfico de fuzzição da frequência cardíaca.

Figura 16. Fuzzição das variáveis de entrada.**Figura 17.** Fuzzição da variável de saída.

Com estas variáveis, modelou-se as regras proposicionais, que estão dispostas na Tabela 2. Os dados da tabela permitem a criação das regras dentro do sistema e posterior análise de inferência para valores pontuais de entrada. Ainda sobre a Tabela

2, a coloração azul (presente nas células centrais da tabela) representa os valores mapeados da saída. A interpretação da Tabela 2 é feita pelo uso da implicação “se - > então”. Como exemplo, se tivéssemos um paciente com limitação angular como “deficiência grave”, frequência cardíaca como “intensidade física moderada” e um tempo de resposta “alto”, então a saída estaria no conjunto de “fácil”, ou seja, o alvo da tarefa em questão deve ser apresentado como fácil para que a motivação do usuário seja mantida.

Tabela 2. Modelagem das Regras *Fuzzy*

		Frequência cardíaca																										
		N	IFM	IFV	MI																							
Limitação angular	ND	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta																							
		<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>MD</td> <td>D</td> <td>M</td> </tr> </table>	B	M	A	MD	D	M	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>M</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	D	M	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>M</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	D	M	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F
	B	M	A																									
	MD	D	M																									
	B	M	A																									
D	M	F																										
B	M	A																										
D	M	F																										
B	M	A																										
M	F	MF																										
DL	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta																								
	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>M</td> <td>M</td> </tr> </table>	B	M	A	D	M	M	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>M</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	M	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	F	F	MF
B	M	A																										
D	M	M																										
B	M	A																										
M	M	F																										
B	M	A																										
M	F	F																										
B	M	A																										
F	F	MF																										
DM	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta																								
	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> </tr> </table>	B	M	A	M	M	M	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	F	F	F
B	M	A																										
M	M	M																										
B	M	A																										
M	F	F																										
B	M	A																										
M	F	F																										
B	M	A																										
F	F	F																										
DG	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta																								
	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>M</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	M	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	F	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>MF</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	F	MF	MF
B	M	A																										
M	M	F																										
B	M	A																										
M	F	F																										
B	M	A																										
F	F	F																										
B	M	A																										
F	MF	MF																										
DC	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta	Tempo de resposta																								
	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> </table>	B	M	A	M	F	F	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	F	F	MF	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	F	F	MF	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>MF</td> <td>MF</td> </tr> </table>	B	M	A	F	MF	MF
B	M	A																										
M	F	F																										
B	M	A																										
F	F	MF																										
B	M	A																										
F	F	MF																										
B	M	A																										
F	MF	MF																										

Como parte final, a obtenção do valor real de saída é dada por meio da utilização do centro de massa do centroide resultante (a partir das figuras geométricas de entrada e seus pesos, um centroide final é gerado).

3.3.1 Módulo *Fuzzy*

O módulo *Fuzzy* foi implementado através de uma biblioteca de uso público chamada AForge.Net, responsável por diversas técnicas computacionais, sendo uma delas a utilizada neste trabalho.

A utilização de tal módulo se dá por uma configuração inicial, onde são inseridos os elementos que compõem o funcionamento da lógica *Fuzzy*, sendo eles:

- os conjuntos *Fuzzy*, onde cada conjunto representa a área da geometria de cada gráfico. Por exemplo, para a frequência cardíaca: “normalidade, intensidade moderada, intensidade vigorosa e muito intenso”;
- as variáveis linguísticas, que representam as entradas (limitação angular, tempo de resposta e frequência cardíaca) e as saídas (nível de dificuldade) e;
- base de dados, objeto que concentra os dados anteriores e recebe todas as regras formuladas (descritas na Tabela 2).

Assim, uma vez o jogo em andamento, altera-se o valor das variáveis de entradas e faz-se uma requisição para aferir o valor da dificuldade, sendo este valor retornado ao jogo para que possa trabalhar dinamicamente.

3.4 PROJETO DE SOFTWARE

Algumas diretrizes foram traçadas para o desenvolvimento da ferramenta, tais como:

1. Uma das necessidades é a progressão do paciente. Essa progressão é feita através da análise massiva de dados que é obtida através das sessões dos pacientes. Dados advindos dos sensores, dos movimentos do

paciente, da melhora de movimentação, velocidade e eficiência precisam ser dispostos de forma a serem rapidamente interpretados pelo fisioterapeuta em sessões futuras.

2. Outro ponto é manter a assiduidade, motivação e satisfação do paciente ao utilizar a ferramenta. Isto pode ser alcançado atrelando os jogos digitais à forma como as informações são dispostas pela ferramenta. Os jogos digitais provêm uma boa visualização dos dados, um *feedback* sonoro e visual em momentos oportunos, gráficos 3D e outros elementos.

Os requisitos mínimos de execução do sistema contemplam um computador com placa de vídeo dedicada, 8Gb de memória RAM, processador Dual Core 2 GHz e sistema operacional Microsoft Windows 8.1.

A parte inicial da ferramenta é responsável por tratar dos dados do fisioterapeuta, do paciente, e da seleção dos exercícios e tratamentos escolhidos em determinado momento. Um diagrama de telas do funcionamento desta parte pode ser visualizado na Figura 18.

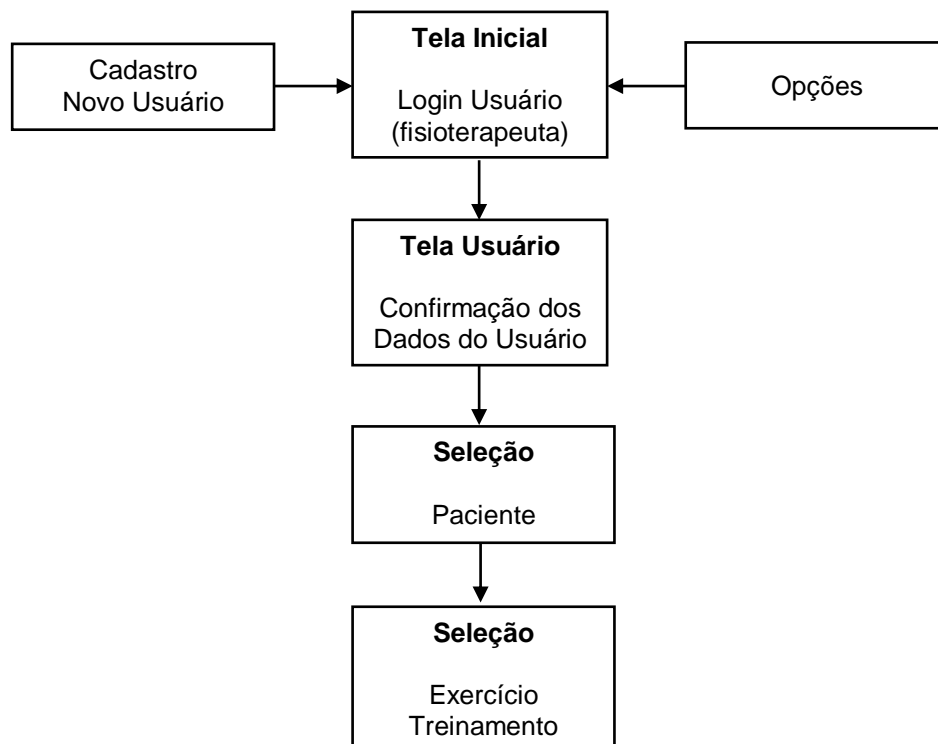


Figura 18. Diagrama de telas do funcionamento da primeira seção da ferramenta.

Na seção de seleção de exercício e tratamento (informações referentes ao paciente selecionado), cujo diagrama é retratado na Figura 19, os jogos que possibilitam reabilitação são categorizados de acordo com palavras-chave dos membros e patologias que eles podem tratar. Assim, a um paciente que tenha necessidade de reabilitação dos membros superiores, serão apresentados jogos com “movimento manual”, “alcance funcional”, etc. e, de forma semelhante, para pacientes que precisem de reabilitação dos membros inferiores, palavras como “abdução do quadril” podem ser apresentadas. Este sistema também permitirá ao fisioterapeuta alterar as possibilidades de utilização de determinados jogos que antes eram fixos para apenas uma patologia.

Ainda sobre o diagrama da Figura 19, pode-se selecionar as opções de visualizar o progresso do paciente, tanto quanto na própria tela do sistema, quanto ao gerar um relatório final.

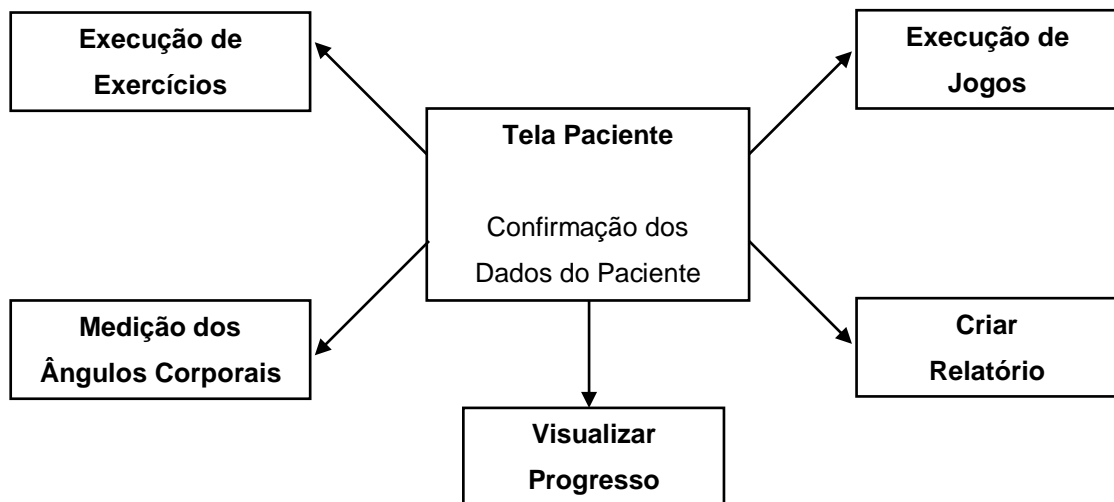


Figura 19. Diagrama de telas do funcionamento da segunda seção da ferramenta.

A utilização de jogos utilizará um sistema dinâmico de dificuldades instantâneo para prover ao paciente, automaticamente, a motivação ao jogar, para que se mantenha assíduo na utilização da ferramenta. A tarefa de se criar uma dificuldade dinâmica ocorre sobre como e quando intervir na jogabilidade do paciente. Esta dificuldade dinâmica é obtida através de uma lógica *Fuzzy*, respeitando a teoria de fluxo. Tal balanceamento é proposto neste trabalho através de análises sobre o tempo de resposta do usuário, suas limitações físicas e seus dados biométricos, sendo estes dados sub-

metidos para o algoritmo de lógica *Fuzzy*, que retorna a dificuldade ideal para o momento. Toda esta lógica está implementada na criação dos jogos digitais propostos para tratamento.

O sistema remoto de utilização do sistema (proposta futura) contará com uma interface própria, que permite a visualização do progresso do paciente bem como a geração de relatórios detalhados em dispositivos móveis ou *web*.

3.4.1 Segurança dos dados

Devido à natureza dos dados que contém informações sigilosas, como considerações da saúde do paciente, é necessário armazenar os arquivos através de um sistema que previna o acesso por pessoas não autorizadas. Neste trabalho utilizou-se a encriptação dos arquivos através do método Rijndael (também conhecido como AES – *Advanced Encryption Standard*, presente nativamente no *namespace Security.Cryptography* do .NET) utilizando como chave a própria senha da conta do usuário. Esta senha, apesar de não garantir ser uma boa chave, é interessante pois não é *hard-coded* (escrita no código fonte, algo que poderia ser facilmente obtida através de engenharia reversa).

Como o processo de fazer a decriptação requer alto processamento computacional, foi necessário criar a rotina de verificação em um novo processo, aliviando a carga da aplicação principal, que, por se tratar de interação visual, não pode apresentar travamentos.

4 RESULTADOS DO SISTEMA PROPOSTO

Esta seção retrata o progresso do desenvolvimento do sistema em questão. Serão apresentados os módulos funcionais, juntamente com os resultados obtidos. Toda a ferramenta foi desenvolvida sobre a *engine* Unity3D (versão 2017) utilizando a linguagem de programação C#.

4.1 SISTEMA DESENVOLVIDO

Nesta primeira etapa são apresentadas as funcionalidades do sistema bem como os jogos desenvolvidos e como funcionam com a dificuldade dinâmica.

4.1.1 Criação de exercício e comparação angular

O módulo de criação de exercício pelo fisioterapeuta permite incluir qualquer tipo de sequência de movimentos sobre os ângulos analisados para que, quando necessário, o paciente a siga. A Figura 20 indica os campos das entradas para cadastro de cada exercício e quais serão os membros que o exercício irá monitorar. A Figura 21 mostra como o usuário do sistema pode cadastrar os movimentos e salvá-los para futura utilização. Cada barra altera em tempo real o ângulo do avatar (representação virtual do fisioterapeuta) para uma melhor visualização do exercício em questão.

Uma outra forma de inserir os movimentos alvos para o exercício seria permitir ao fisioterapeuta cadastrar as posições corporais realizadas por ele mesmo, o que contribui para uma interface de maior caráter natural. No entanto, esta forma não permite o ajuste fino da angulação articular que o sistema de barras possibilita. Para este momento do projeto, apenas a entrada por barras foi desenvolvida, uma vez que o foco do trabalho são os jogos desenvolvidos e suas dificuldades dinâmicas.

Figura 20. Interface de criação de exercícios personalizados.

Figura 21. Manipulação dos ângulos das articulações para o exercício.

A comparação angular é feita com relação aos ângulos cadastrados pelo fisioterapeuta e os ângulos que o paciente registra no momento. Esta abordagem independe da posição absoluta da articulação, permitindo a reabilitação dos movimentos específicos em qualquer posição corporal. Por exemplo, um movimento de membros superiores, pode ser realizado em pé, sentado ou deitado, contanto que os ângulos

cadastrados, seja do ombro ou do cotovelo, sejam respeitados. A Figura 22 mostra como é feita a comparação angular (no exemplo, o membro a ser analisado é o ombro, quando ele respeita um determinado limiar, o membro torna-se verde e o exercício passa para o próximo movimento).



Figura 22. Comparação angular entre o exercício proposto e o movimento do usuário.

4.1.2 Visualização do progresso

O progresso do paciente pode ser visualizado na tela da ferramenta. Este progresso é disposto em um gráfico que carrega todas as medidas realizadas do ângulo explicitado durante todo o processo de tratamento, juntamente com o valor de frequência cardíaca no instante da avaliação (no caso de um jogo, é o valor médio). A Figura 23 é uma exemplificação de um gráfico de progresso utilizando dados de teste. No gráfico apresentado, o eixo X apresenta a data da medição realizada, no eixo Y são apresentados os valores dos ângulos (em graus) e também o valor da frequência cardíaca (em batimentos por minuto). No exemplo da Figura 23 foram realizadas cinco medições, dispostas com suas respectivas datas.

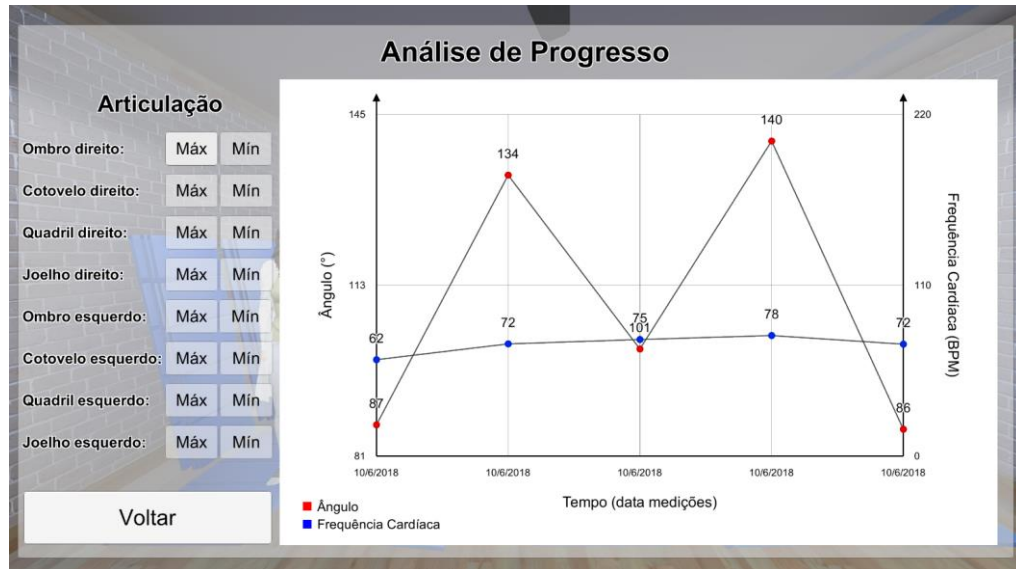


Figura 23. Gráfico de visualização do progresso da amplitude articular.

4.1.3 Criação de relatórios

Os relatórios criados através da ferramenta englobam todos os dados das medições realizadas no decorrer do tratamento para o paciente em questão. Tal relatório também permite incluir os gráficos de desempenho. O arquivo final é gerado no formato PDF. A Figura 24 mostra as opções de inclusão para gerar um relatório. Um relatório final pode ser visualizado no Apêndice E deste documento. Além de ser possível criar o relatório, também é possível exportar os dados no formato CSV para análise futura.



Figura 24. Opções para serem incluídas no relatório de desempenho do paciente.

4.1.4 Jogos propostos

Os jogos dispostos neste trabalho consistem de uma análise de ideias do autor junto com fisioterapeutas para que se pudesse extrair formas diferentes de se obter motivação e assiduidade dos pacientes.

Para cada jogo desenvolvido, é diferente a forma com que a dificuldade dinâmica se comporta. O módulo *Fuzzy* retorna um valor número entre 0 e 100, com este valor cada item passível de dificuldade é alterado em cada jogo. Para os dois jogos desenvolvidos são apresentadas quais mecânicas foram modificadas por este valor.

Todos os jogos possuem um módulo base de funcionamento. Dentre as diversas características de funcionamento deste módulo, está a captura dos dados do paciente para posterior análise. A captura grava os dados (frequência cardíaca e movimentos) a cada 250 ms. No entanto, pode acontecer de dados referentes ao máximo/mínimo encontrados na partida ocorrer entre esses intervalos de captura. Para estes casos, o dado é armazenado no instante em que acontece.

Os jogos também foram desenvolvidos sobre a *engine* Unity3D. Os *assets* artísticos (objetos 3D, 2D e sons – como por exemplo os personagens, cenário, etc.) foram adquiridos pela loja da Unity (Unity Asset Store) ou por outros meios, e são todos aptos a serem utilizados para uso comercial.

Passeio no Parque

Este jogo possui como ideia um passeio do paciente por um parque. Este parque é gerado proceduralmente (automaticamente pelo *software*) a partir de um bloco base. Seus obstáculos aparecem aleatoriamente a partir de algumas predefinições de locais.

Este jogo possui duas possibilidades de execução, uma para membros superiores e outra para inferiores. O modo de membros superiores conta com obstáculos em que o paciente precisa capturar frutas em uma árvore ou bolhas de sabão. Tal modo pode ser visto na Figura 25. Neste caso, a dificuldade dinâmica controla qual a distância que os frutos/bolhas aparecem para o paciente e qual o tempo entre cada fruto/bolha.



Figura 25. Jogo “Passeio no Parque!” modo membros superiores.

Outro modo de jogo, para os membros inferiores, consiste em desviar de cercas ou poças de água que estão no caminho (o “andar” do paciente é automático, ou seja, ele apenas precisa desviar dos obstáculos). Este modo pode ser visualizado na Figura 26. A dificuldade dinâmica é disposta sobre a velocidade automática de andar do bloco (o chão que contém os obstáculos) e a quantidade de obstáculos no bloco.



Figura 26. Jogo “Passeio no Parque!” modo membros inferiores.

As regras deste jogo consistem, para os movimentos de membros inferiores, na movimentação do personagem pelo paciente e desvio dos obstáculos: quando uma cerca aparece, o jogador precisa desviar para o lado oposto. Quando uma poça vem

em sua direção, o jogador pode escolher qual lado para desviá-la. A velocidade do chão independe da escolha do jogador.

Para os membros superiores, a regra é utilizar a movimentação dos braços para capturar as bolhas de sabão ou as frutas das árvores. A mão do paciente precisa “atravessar” a bolha/fruta. Quando isto ocorre, é contabilizado o tempo e novos desafios aparecem.

Um Dia de Goleiro

Este jogo apresenta uma simulação de cobrança de pênaltis para que o paciente possa defender o gol, como em uma partida de futebol. O objetivo consiste em defender o maior número de chutes.

O jogo possui apenas uma ambientação, porém é possível selecionar se apenas bolas altas (membros superiores) ou bolas baixas (membros inferiores) serão lançadas. A dificuldade dinâmica controla a velocidade da bola e a distância (posição de destino do chute) entre a bola e o paciente. A Figura 27 apresenta uma tela do jogo.



Figura 27. Jogo “Um Dia de Goleiro!”.

As regras deste jogo são similares as de uma disputa de pênaltis do futebol convencional. O usuário deve permanecer na linha do gol enquanto o personagem do

jogo chuta a bola. Neste momento, o paciente movimenta seus membros (inferiores/superiores) em direção a bola. Caso a bola colida com os membros, então é realizada a defesa e o jogador é pontuado (pontuação não é analisada por este trabalho).

4.1.5 Considerações adicionais

O sistema proposto concentra diversas tecnologias do mercado e estudadas na academia com um intuito de prover assistência à reabilitação motora. Fez-se todo o sistema sobre uma plataforma 3D para aumentar a imersão e facilidade de uso de pessoas que não são da área de tecnologia.

A ferramenta contempla diversas áreas responsáveis pela reabilitação motora do paciente, incluindo: cadastro de fisioterapeutas, cadastro de pacientes, avaliação dos pacientes (amplitude articular), exercícios personalizados, jogos de reabilitação e visualização de progresso (na própria aplicação ou em relatórios).

Os jogos propostos visam exercitar os membros superiores e inferiores, porém não contemplam todos os movimentos necessários para uma reabilitação plena, isto pode ser suprido por novos jogos e exercícios específicos. A estrutura desenvolvida no sistema possibilita que novos jogos utilizem os módulos existentes (dificuldade dinâmica, captura dos dados biométricos, etc.), facilitando sua implementação.

4.2 PROPOSTA DE TESTE DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

Com o desenvolvimento do sistema concluído, propõe-se um teste de utilização da aplicação (segunda etapa do projeto), para verificar a usabilidade do sistema com usuários reais. A proposta é de caráter descritivo e deve ser conduzida com uma análise de dados quantitativa e qualitativa. A coleta de dados deve ser feita a partir de um questionário com questões abertas sobre o participante e questões fechadas sobre a usabilidade do sistema seguindo um questionário já existente (THOMAS et al., 2011).

Infelizmente, esta etapa experimental não pode ser conduzida até a escrita deste documento por estar esperando o parecer do comitê de ética em pesquisa da universidade.

4.2.1 Amostra

Os participantes devem ter idade entre 40 e 80 anos, ambos os sexos. A amostra será de (9) nove sujeitos (três fisioterapeutas e seis pacientes). A participação na pesquisa é voluntária e será apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes do início, tanto para o paciente (Apêndice A) quanto para o(a) fisioterapeuta (Apêndice B). Uma vez iniciada a prática, os participantes terão liberdade de retirar o seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem pena alguma (artigo IV, §3, item “d” da Resolução 466/2012).

Critério de inclusão: Participantes com idade entre 40 e 80 anos e que apresentem limitação de amplitude articular de membros superiores (ombro e/ou cotovelo) e/ou inferiores (quadril e/ou joelho).

Crítérios de exclusão: Pacientes que apresentarem condição física que os impeçam de realizar movimentos com membros superiores e inferiores e condição mental que possa impedir o entendimento da tarefa e em responder os questionários.

4.2.2 Procedimento

O uso do aplicativo deve ser realizado em uma clínica ou local apropriado que conte com uma equipe de fisioterapeutas. Os participantes do estudo serão seis pacientes que apresentam limitação de amplitude de movimento articular, de origem neurológica e/ou ortopédica. Além disso, três fisioterapeutas que farão uso do aplicativo também serão os participantes do estudo. Inicialmente, os fisioterapeutas receberão instruções e treinamento do pesquisador para utilizar o aplicativo. A coleta de dados quanto ao uso do aplicativo proposto e avaliação da amplitude articular do movimento, tanto por pacientes como por fisioterapeutas, consiste de um total de cinco dias consecutivos. Os pacientes serão submetidos à avaliação dos ângulos articulares (e.g. ombro, cotovelo, quadril e joelho) por meio da goniometria, no primeiro e último dia (Apêndice C). A avaliação goniométrica levará em torno de 15 minutos. Além disso, os pacientes terão também os ângulos articulares avaliados pelo módulo do aplicativo, no início e ao final de cada sessão, durante os cinco dias consecutivos. Essa avaliação levará em torno de 10 minutos.

Ainda, na primeira sessão, os participantes pacientes irão responder a uma anamnese (Apêndice D) elaborada pelo pesquisador solicitando dados sociodemográficos, estado geral de saúde, uso de ferramentas tecnológicas, entre outros. O fisioterapeuta irá realizar a sessão de reabilitação com o aplicativo junto ao paciente. O pesquisador estará junto ao fisioterapeuta e ao paciente durante a realização das sessões, em caso de necessidade. O fisioterapeuta explicará ao paciente sobre a tarefa a ser realizada no jogo.

O aplicativo consiste de um ou mais jogos projetados em um ambiente virtual, onde o participante (i.e., paciente) será representado por um avatar (i.e., figura humana virtual projetado no monitor que representa o participante). O jogo projetado nesse ambiente consiste em desafios motores que estimulam a movimentação articular dos segmentos corporais (e.g., alcançar com a mão um objeto localizado acima da altura da cabeça do participante ou na posição lateral direita ou esquerda, na posição ortostática). O paciente realizará as tarefas do jogo assistindo a um monitor colocado à sua frente. A interação do paciente com o jogo terá duração total de 20 minutos. Na última sessão, ao final do uso do aplicativo, o fisioterapeuta responderá a um questionário com relação a usabilidade do aplicativo (SUS – Escala de Usabilidade do Sistema - BROOKE, 1986 – disponível no Anexo A). Esse questionário levará em torno de 10 minutos para ser aplicado ao fisioterapeuta.

4.2.3 Análise dos dados

Os dados serão inseridos em uma planilha eletrônica para posterior tratamento e análise. Os dados referentes aos ângulos articulares e às respostas do questionário quanto à usabilidade serão analisados por meio de estatística descritiva. Espera-se que os resultados do presente estudo demonstrem alterações nos ângulos articulares e boa usabilidade pelos fisioterapeutas.

4.2.4 Riscos

Para os pacientes: os eventuais riscos de acidentes consistem, por exemplo, em possível desequilíbrio, queda, cansaço físico e/ou mental durante a execução do jogo no aplicativo (em ambiente virtual), visualizando o jogo no monitor. Caso alguma

eventualidade ocorra, os fisioterapeutas estarão sempre ao lado dos pacientes para prover a ajuda necessária.

Para os fisioterapeutas: eventuais riscos de acidentes são mínimos, uma vez que o aplicativo utiliza câmera de profundidade e sensores vestíveis que atendem aos padrões de segurança estabelecidos para uso. Eventuais desconfortos poderão ocorrer em relação à insegurança ou hesitação em usar o aplicativo, pois não faz parte da rotina clínica.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este trabalho visa a sinergia entre as tecnologias criadas pela computação e áreas correlatas e as necessidades da saúde. A utilização destas tecnologias e ferramentas pode apresentar cenários como os de ficção científica, mas tais cenários estão muito próximos e já permitem hoje em dia, por meio de algoritmos sofisticados, análises e sugestões de ações práticas em tempo real.

A integração dos dados dos sensores vestíveis proposta no trabalho para uma melhora na forma de reabilitação proporciona ao paciente uma abordagem diferenciada e personalizada para seu tratamento. Como tais sensores estão se popularizando na sociedade - mais de 46 milhões de unidades vendidas em 2018 (ZDNet, 2018) – a captura biométrica eventualmente será contínua e, ao utilizar técnicas de inteligência artificial, como lógica *Fuzzy* e aprendizado de máquina, será possível realizar prognósticos e verificar se o comportamento de vida do usuário é saudável ou não.

A utilização da lógica *Fuzzy* consegue prover os mais diversos tipos de funcionalidades para reabilitação. Ao utilizá-la neste trabalho pôde-se verificar a integração de técnicas de jogos digitais e dados biométricos, com o intuito de uma melhor motivação para o paciente ao jogar e realizar seu tratamento. Ela também permite apresentar os dados de saúde de forma mais fácil para a compreensão dos pacientes ao utilizar semânticas de alto nível, a lacuna de diferença de conhecimento entre as partes é diminuída.

5.1 *HARDWARE* E SAÚDE

Com relação aos sensores vestíveis, este trabalho focou na frequência cardíaca do paciente, devido à sua direta relação com o esforço físico realizado. No entanto, existem sensores no mercado que retornam as mais diversas informações, como pressão sanguínea, movimento corporal, e até mesmo pode-se extrapolar essas informações e obter dados semânticos sobre o que o paciente está fazendo. Utilizar estes sensores pessoais possibilita tratamentos personalizados e pontuais para a necessidade do paciente e verificam as suas ações sem que estes precisem relatá-las

(o que pode diminuir erros devido a pacientes não saberem constatar o que fizeram/sentem).

Outro ponto importante é que tais sensores não podem ser invasivos para o usuário. A academia retrata este ponto como duas categorias, os dispositivos com contato (onde os sensores vestíveis se encaixam) e os sem contato (como as câmeras de profundidade). A utilização de métodos pouco invasivos e interfaces naturais de interação com o sistema permitem a inclusão de pacientes, principalmente os pacientes com deficiências diárias, no mundo moderno. Estes novos métodos de entrada de dados possibilitam que pessoas excluídas socialmente possam interagir com o mundo e até mesmo melhorar a sua condição a partir de sistemas computacionais de reabilitação desenvolvidos para este fim (como o proposto por este trabalho).

5.2 USUÁRIOS DA FERRAMENTA

O público alvo principal desta pesquisa são pessoas com disfunções crônicas e deficiências que limitem sua amplitude articular. A realização constante de tratamento fisioterapêutico pode levar à desmotivação pessoal e interrupção do tratamento por falta de interesse e vislumbre de melhora. O trabalho em questão visa proporcionar esta motivação e dar um retorno à sociedade para uma melhora da saúde da população.

A forma de apresentar os dados para os usuários é de suma importância para manter um paciente entretido e motivado com seu tratamento. Abordagens convencionais possuem alto caráter informativo, porém pouco motivador. Este trabalho propõe um ambiente virtual onde uma clínica é simulada e todas as etapas do tratamento proposto estão neste ambiente. Aliar elementos lúdicos por meio de jogos digitais às atividades que o paciente precisa realizar apresenta maior diversão e motivação.

Além disto, por se tratar de um sistema computacional, todos os dados dos sensores e ações dos usuários são salvos para posterior análise, auxiliando o fisioterapeuta a prover dicas e visualizar situações que passam omissas (como vícios de postura e movimento, fadiga excessiva, etc.), tudo com o intuito de possibilitar uma melhor saúde do paciente.

5.3 APRESENTAÇÃO DOS DESAFIOS

A apresentação dos desafios dentro dos jogos propostos também precisa ser de forma gradual e proporcional para as habilidades dos pacientes, para que estes consigam se manter motivados a continuar o tratamento/jogo. Muitas vezes, os jogos utilizados são comerciais e, apesar de conter elementos lúdicos, podem ser difíceis de jogar e induzir frustração. Os fisioterapeutas, nestes casos, também não possuem controle do que é requerido que o paciente faça e não conseguem obter dados de desempenho da sessão.

Um jogo realizado com base em dificuldades dinâmicas, como o realizado neste trabalho, considera as limitações, experiências e a forma como o paciente se encontra no dia da sessão, possibilitando um desafio realizado especialmente para ele. Isto tende a aumentar a satisfação do jogador. Muitas vezes, também os pacientes não sabem qual a melhor dificuldade do jogo para o seu caso e caem em zonas desconfortáveis. A dificuldade dinâmica prevê estes casos e considera dados intrínsecos da pessoa para realizar seus cálculos e manter o caráter lúdico e motivacional.

5.4 UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

O trabalho proposto visualiza a utilização da ferramenta para qualquer faixa etária. A possível resiliência de um público idoso em utilizar soluções contendo jogos digitais é diminuída a cada ano, visto que é uma área que se torna parte da sociedade e dos futuros idosos. Além disso, a possibilidade de idosos utilizarem jogos cresce uma vez que estão em contato com computadores pessoais e a internet.

O uso desta plataforma desenvolvida, de entretenimento ativo por meio de jogos digitais, é uma ótima forma para se passar o conteúdo da reabilitação, pois está presente na vida dos jovens e atrai cada vez mais adultos e idosos. A sua forma motivadora e interativa permite uma sensação de poder ao participante, e o mantém entretido durante toda a sua utilização no tratamento. A utilização de computadores como a plataforma para execução do jogo é a mais considerada, pois várias parcelas da população já têm contato com a mesma para outras situações.

Alguns autores, como Salmon et al. (2017), mencionam que o sucesso de uma intervenção depende da consistência do paciente em praticá-la, o que muitas vezes é

dito pelo quão “divertida” ela é. Este conceito é parte fundamental do estudo em questão, que visa integrar várias tecnologias computacionais às necessidades da reabilitação para aumentar o sucesso das intervenções.

Para verificar a funcionalidade da ferramenta é necessário testá-la. Em um projeto deste tipo existem vários testes a serem realizados: o primeiro tipo de teste é sobre o desenvolvimento da ferramenta em si, como testes internos sobre várias iterações desenvolvidas; o segundo é em relação ao usuário, onde podem ser aplicados testes como o GEQ (*Game Experience Questionnaire*) e o SUS (*System Usability Scale*); por fim, pode-se realizar testes de validação transversal e longitudinal onde verifica-se a eficácia da ferramenta no tratamento ao longo do tempo. Neste trabalho realizou-se os testes da primeira etapa e foi proposto a metodologia para realização dos testes da segunda etapa. Por motivos de tempo de realização do projeto não coube ao escopo do trabalho a execução dos testes de usabilidade e eficiência.

5.5 CONCLUSÃO

Este trabalho em suma pretendeu aliar inteligência artificial e sensores vestíveis para um maior valor dos dados obtidos e, a partir destes, apresentar uma forma personalizada de exercícios para reabilitação fisioterapêutica. Apesar de conseguir realizar a proposta de desenvolvimento da ferramenta, testes de usabilidade e eficiência são necessários para comprovar sua utilidade junto à sociedade.

A proposta deste trabalho também não se limita tecnicamente apenas à ferramenta desenvolvida. Os conceitos estudados e aplicados podem ser exportados em módulos que ampliam a funcionalidade de outros aplicativos. Como por exemplo um módulo de captura biométrica e outro de análise de dificuldade dinâmica. Desta forma, outros estudos podem aliar estas tecnologias e prover soluções melhores em outras áreas.

5.6 TRABALHOS FUTUROS

Existem duas frentes principais para trabalhos futuros. A primeira se concentra em realizar pesquisas experimentais sobre a usabilidade e eficiência do sistema. Desta forma é possível verificar se os pacientes em reabilitação têm maior progresso

e motivação em realizar o tratamento, além de verificar se os fisioterapeutas têm as suas necessidades contempladas na aplicação.

A segunda frente é a melhora das tecnologias utilizadas e a possibilidade de aliar novas tecnologias/abordagens ao sistema. Como por exemplo, utilizando uma câmera no sistema (como já se tem) pode-se verificar a face do paciente e, por meio de algoritmos de aprendizagem, detectar se ele está exausto, cansado, contente, etc. e utilizar esta informação como entrada no módulo de dificuldade dinâmica. Pode-se utilizar mais sensores biométricos e fornecer uma experiência ainda mais pessoal (sobre as necessidades específicas de cada paciente). Também é possível aliar novas abordagens de reabilitação motora, como colocar a marcha como parte do exercício (e trabalhar o movimento dos membros inferiores de forma diferente).

REFERÊNCIAS

- ALI Z.; USMAN M. A Framework for Game Engine Selection for Gamification and Serious Games. **2016 Future Technologies Conference**. p. 1199-1207, 2016.
- BAMRUNGTHAI P.; PLEEHACHINDA W. Development of a game-based system to support stroke rehabilitation using kinect device. **2015 International Conference on Science and Technology (TICST)**. p. 323-326, 2015.
- BRAGAGLIA S.; MONTE S. D.; MELLO P. A Distributed System Using MS Kinect and Event Calculus for Adaptive Physiotherapist Rehabilitation. **2014 Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems**. p. 531-538, 2014.
- BROOKE J. SUS: a “quick and dirty” usability scale. Usability Evaluation in Industry. 1ª ed. Londres: Taylor & Francis, p. 189-194, 1996.
- CAPECCI M., et al. Accuracy evaluation of the Kinect v2 sensor during dynamic movements in a rehabilitation scenario. **2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**. p. 5409-5412, 2016.
- CARMODY, T. P., et al. Physical Exercise Rehabilitation: Long-Term Dropout Rate in Cardiac Patients. **Journal of Behavioral Medicine**. v. 3, n. 2, p. 163-168, 1980.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Target Heart Rate and Estimated Maximum Heart Rate. Disponível em < <https://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/measuring/hearttrate.htm>>. Acesso em: 27 de abril de 2018.
- CHANG C., et al. Towards pervasive physical rehabilitation using Microsoft Kinect. **2012 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (Pervasive Health) and Workshops**. p. 159-162, 2012.
- CLARKSON, H. M. Avaliação Muscoloesquelética: Amplitude de Movimento Articular e Força Muscular Manual. 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p. 109-110, 164-165, 266-267 e 310-311.
- COWAN B.; KAPRALOS B. A Survey of Frameworks and Game Engines for Serious Game Development. **2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies**. p. 662-664, 2014.
- CRUZ-JENTOFT, A. J. et alii. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. **Age and Ageing**, v. 39, n.4, p.412-423, 2010.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. Flow: The Psychology of Optimal Experience. 1ª ed. Harper & Row p. 1-8, 1990.
- DA GAMA, A., et al. Improving motor rehabilitation process through a natural interaction based system using Kinect sensor. **2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**. p. 145-146, 2012.

DUARTE, N.; POSTOLACHE O.; SCHARCANSKI J. KSGphysio - Kinect serious game for physiotherapy. **2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)**. p. 606-611, 2014.

ESFAHLANI, S. S., et al. An adaptive self-organizing fuzzy logic controller in a serious game for motor impairment rehabilitation. **2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics**. p. 1311-1318, 2017.

FERNÁNDEZ-BAENA A.; SUSÍN A.; LLIGADAS X. Biomechanical Validation of Upper-Body and Lower-Body Joint Movements of Kinect Motion Capture Data for Rehabilitation Treatments. **2012 Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems**. p. 656-661, 2012.

FOLGIERI, R.; LUCCHIARI, C. Boosting physical and psychological well-being in rehabilitation through cognitive technologies. **2017 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference**. p. 75-79, 2017.

FRONTERA, W. R.; DAWSON, D. M.; SLOVIK, D. M. Exercício Físico e Reabilitação. São Paulo: Artmed, p. 1-10.

HOERMANN, S., et al. Computerized mirror therapy with augmented reflection technology for stroke rehabilitation. **2015 International Conference on Virtual Rehabilitation Proceedings**. p. 199-206, 2015.

HOLLOWAY, C.; DAWES, H. Disrupting the world of disability: the next generation of assistive technologies and rehabilitation practices. **Healthcare Technology Letters**. v. 3, i. 4, p. 254-256, 2016.

HUANG, J. Kinerehab: A Kinect-based System for Physical Rehabilitation - A Pilot Study for Young Adults with Motor Disabilities. **Assets 11: Proceedings of the 13th International ACM Sig access conference on Computers and Accessibility**. p. 319-320, 2011.

KELLER, T., et al. New multi-channel transcutaneous electrical stimulation technology for rehabilitation. **28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. p. 194-197, 2006.

KHSSIBI, S., et al. Presentation and analysis of a new technology for low-power wireless sensor network. **International Journal of Digital Information and Wireless Communications**. v. 3, p. 75-86, 2013.

KITSUNEZAKI, N., et al. KINECT applications for the physical rehabilitation. **2013 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)**. p. 1-6, 2013.

KUKULA E. P.; ELLIOTT S. J. Implementing Ergonomic Principles in a Biometric System: A Look at the Human Biometric Sensor Interaction (HBSI). **2006 International Carnahan Conference on Security Technology**. p. 86-91, 2006.

KUKULA E. P., et al. The Human-Biometric-Sensor Interaction Evaluation Method: Biometric Performance and Usability Measurements. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. v. 59, i. 4, p. 1-8, 2010.

KULTSOVA, M.; MATYUSHECHKIN, D.; USOV, A. Assistive technology for complex support of children rehabilitation with autism spectrum disorder. **2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications**. p. 1-5, 2017.

LIN, B.; CHEN, J.; HSU, H. Novel upper-limb rehabilitation system based on attention technology for post-stroke patients: a preliminary study. **IEEE Access**. v. 6, p. 2720-2731, 2017.

LIPOVSKY, R.; FERREIRA, H. A. Hand therapist: a rehabilitation approach based on wearable technology and video gaming. **2015 IEEE 4th Portuguese Meeting on Bioengineering**. p. 1-2, 2015.

LOZANO-QUILIS, J. A., et al. Virtual reality system for multiple sclerosis rehabilitation using KINECT. **2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops**. p. 366-369, 2013.

OLIVEIRA, L. P. M. et al. Índice de massa corporal obtido por medidas autorreferidas para a classificação do estado antropométrico de adultos: estudo de validação com residentes no município de Salvador, estado da Bahia, Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. v. 21, n. 2. p. 325-332, 2012

MAGEE, D. J. Avaliação Musculoesquelética. 4^a ed. Barueri: Manole, 2005. p. 207, 320, 603 e 657.

MAHAMUD, F.; ANUAR, A. Usage of robotic rehabilitation technology for lower limbs therapy of children with cerebral palsy – a review. **2014 IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation**. p. 126-130, 2014.

MAZUMDER, O., et. al. Posturography stability score generation for stroke patient using Kinect: Fuzzy based approach. **2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. p. 3052-3056, 2017.

MEHMOOD, N. Q.; CULMONE, R. A data Acquisition and Document Oriented Storage Methodology for ANT+ Protocol Sensors in Real-Time Web. **2016 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshop**. p. 312-318, 2016.

MERLETTI, R.; FARINA, D. Surface Electromyography for MAN-Machine Interfacing in Rehabilitation Technologies. 1^a ed. Wiley-IEEE Press, 2016.

METSIS, V., et. al. Computer aided rehabilitation for patients with rheumatoid arthritis. **2013 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)**. p. 97-102, 2013.

MOURA, E. W.; SILVA, P. A. C. Fisioterapia, Aspectos Clínicos e Práticos da Reabilitação. 12^a ed. São Paulo: Artes Médicas, p. 1-10.

PEI, W., et al. A motion rehabilitation self-training and evaluation system using Kinect. **2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)**. p. 353-357, 2016.

POSTOLACHE O., et al. Physiotherapy assessment based on Kinect and mobile APPs. **2015 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)**. p. 1-6, 2015.

RAZA, S., et al. Bluetooth Smart: An Enabling Technology for the Internet of Things. **2015 Eight International Workshop on Selected Topics in Mobile and Wireless Computing**. p. 155-162, 2015.

ROBERGS, R. A.; LANDWEHR, R. The Surprising History of the “HRmax = 220 – age” Equation. **Journal of Exercise Physiology**. v. 5, n. 2, p. 1-10, 2002.

ROY, A. K.; SONI Y.; DUBEY S. Enhancing effectiveness of motor rehabilitation using kinect motion sensing technology. **2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)**. p. 298-304, 2013.

SCANO A., et al. Using Kinect for upper-limb functional evaluation in home rehabilitation: A comparison with a 3D stereoscopic passive marker system. **5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics**. p. 561-566, 2014.

SEGESTROM, S. C.; NES, L. S. Heart Rate Variability Reflects Self-Regulatory Strength, Effort and Fatigue. **Psychological Science**. v. 18, n. 3, p. 275-281, 2007.

SPIRDUSO, W. Coordenação e habilidade em movimentos complexos. In: _____ Dimensões Físicas do Envelhecimento. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2005. p. 241-277.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. Inteligência Artificial. 2ª ed. São Paulo: Elsevier, 2004. p. 448-475.

SALMON, J. P., et al. A survey of video game preferences in adults: Building better games for older adults. **Entertaining Computing (2017)**. p. 45-64, 2017.

TANAKA, H.; MONAHAN, K. D.; SEALS, D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. **Journal of the American College of Cardiology**. v. 37, i. 1, p. 153-156, 2001.

TAO G.; ARCHAMBAULT P. S.; LEVIN M. F. Evaluation of Kinect skeletal tracking in a virtual reality rehabilitation system for upper limb hemiparesis. **2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)**. p. 164-165, 2013.

THOMAS J. R., et al. Métodos de Pesquisa em Atividade Física 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2011, p. 293-325.

THOMSON, A.; SKINNER, A.; PIERCY, J. Fisioterapia de Tidy. 12ª ed. São Paulo: Santos, 1994, p. 1-10.

VEERAMACHANENI, K; OSADCIW, L. Biometric Sensor Management: Tradeoffs in Time, Accuracy and Energy. **IEEE Systems Journal**. v. 3, i. 4, p. 389-397, 2009.

WEBSTER D.; CELIK O. Experimental evaluation of Microsoft Kinect's accuracy and capture rate for stroke rehabilitation applications. **2014 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)**. p. 455-460, 2014.

WEGHORN, H. Efforts in developing android smartphone sports and healthcare apps based on Bluetooth low energy and ANT+ communication standards. **2015 15th International Conference on Innovations for Community Services**. p. 1-7, 2015.

XIE J. Research on Key Technologies Base Unity3D Game Engine. **The 7th International Conference on Computer Science & Education**. p. 695-699, 2012.

ZDNet. Smartwatch sales will double in next four years. Disponível em: <<https://www.zdnet.com/article/smartwatch-sales-will-double-in-next-four-years/>>. Acesso realizado em: 27/11/2018.

ZHANG, H.; MIAO, C.; YU H. Fuzzy logic based assessment on the adaptive level of rehabilitation exergames for the elderly. **2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing**. p. 423-427, 2017.

APÊNDICE A – TCLE Paciente.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/12)

Convido o(a) senhor(a) a participar do projeto de pesquisa intitulado “Reabilitação fisioterapêutica por meio de jogos digitais: uma abordagem baseada em lógica fuzzy, câmera de profundidade e dispositivos vestíveis” sob minha responsabilidade, Tiago Pereira Remédio, RG: 43.479.152-0, aluno de mestrado do curso de pós-graduação em Ciências da Computação, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Rio Claro, tendo como orientador o Prof. Dr. Alexandre José Baldassin.

A pesquisa tem como objetivo analisar as alterações articulares dos pacientes com limitação de amplitude de movimento corporal ao utilizar um aplicativo de auxílio para reabilitação motora de membros inferiores e superiores com a utilização de câmera e pulseira para medição da frequência cardíaca. A sua participação é importante pois através deste estudo será possível analisar a usabilidade de um aplicativo para o auxílio do fisioterapeuta no tratamento de pacientes com limitação de amplitude de movimento articular. Espera-se que os resultados dessa pesquisa possam auxiliar fisioterapeutas a propor uma intervenção com utilização de aplicativo computacional e outras tecnologias.

O aplicativo permite obter dados corporais (i.e., frequência cardíaca e posição dos segmentos corporais no espaço de membros inferiores e superiores). O aplicativo consiste de um jogo projetado em um ambiente virtual através de um monitor, onde o(a) senhor(a) será representado por um avatar (i.e., figura humana virtual projetado no monitor que representa o participante). O jogo projetado nesse ambiente consiste em desafios que estimulam a movimentação articular dos segmentos corporais (e.g., alcançar com a mão um objeto localizado acima da altura da cabeça do participante ou na posição lateral, na posição ortostática).

A participação do(a) senhor(a) no estudo envolve utilizar o aplicativo desenvolvido em um ambiente de reabilitação motora. O estudo consiste de um total de cinco dias consecutivos. O(a) senhor(a) será submetido pelo seu fisioterapeuta à avaliação dos ângulos articulares (e.g. ombro, cotovelo, quadril e joelho) por meio da goniometria, no primeiro e último dia. A avaliação goniométrica levará em torno de 15 minutos. Além disso, o(a) senhor(a) terá também seus ângulos articulares avaliados pelo módulo do aplicativo, no início e ao final de cada sessão, durante os cinco dias consecutivos, sempre junto ao seu fisioterapeuta. Essa avaliação levará em torno de 10 minutos. Ainda, na primeira sessão, o(a) senhor(a) irá responder a uma anamnese elaborada pelo pesquisador solicitando dados sociodemográficos, estado geral de saúde, uso de ferramentas tecnológicas, entre outros. O seu fisioterapeuta irá realizar a sessão de reabilitação com o aplicativo junto ao(a) senhor(a). O pesquisador estará junto ao(a) senhor(a) durante a realização das sessões, em caso de necessidade. Ainda, se o(a) senhor(a) tiver restrições da minha presença durante o uso do aplicativo poderei me ausentar durante o uso do aplicativo, aguardando na sala de espera da clínica. A interação com o jogo terá duração total de 20 minutos.

Os eventuais riscos de acidentes consistem, por exemplo, em possível desequilíbrio, queda, cansaço físico e/ou mental durante a execução do jogo no aplicativo (em ambiente virtual) visualizando o jogo no monitor. Para minimizar tais riscos, o jogo será realizado em espaço livre de obstáculos, evitando piso escorregadio. Ainda, o fisioterapeuta e eu (pesquisador), se o(a) senhor(a) me permitir, estaremos sempre próximos ao(a) senhor(a) durante a realização do jogo para evitar qualquer eventualidade. Para minimizar um possível cansaço físico ou mental permitiremos intervalo para descanso suficiente para que o(a) senhor(a) retorne quando sentir-se confortável para o jogo. Além disso, caso não se sinta confortável para continuar as atividades no dia retornaremos no dia seguinte. Todas estas atividades não terão esforço físico maior do que o(a) senhor(a) realiza em uma aula de exercício físico de nível leve para moderado. No caso de uma eventual queda ou outra situação, o fisioterapeuta estará sempre ao seu lado para realizar os procedimentos corretos e devido atendimento.

A qualquer momento o(a) senhor(a) poderá solicitar esclarecimentos sobre a pesquisa diretamente com os pesquisadores. Caso tenha necessidade poderá entrar em contato com o pesquisador responsável. Ressalto que o(a) senhor(a) não terá qualquer forma de despesa, bem como não será remunerado para participar do estudo. Informo que o(a) senhor(a) terá liberdade de desistir de participar do estudo a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Cabe informar que a sua identificação de participação na pesquisa não será divulgada, respeitando sua privacidade. Os seus dados pessoais serão mantidos em sigilo pelos pesquisadores.

Os resultados obtidos das avaliações serão identificados por meio de códigos (números e letras) e serão utilizados somente para fins científicos, o que inclui apresentação dos resultados da pesquisa em congressos e publicação de artigos em revistas científicas.

Se o(a) senhor(a) se sentir suficientemente esclarecido sobre os objetivos, os eventuais riscos e benefícios desse estudo, convido-o a assinar este Termo, elaborado em duas vias, sendo que uma ficará com o(a) senhor(a) e outra com os pesquisadores.

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Pesquisador Responsável

Assinatura do Orientador

Assinatura do Participante

Dados do participante:

Nome: _____ Data de Nascimento: ____/____/____

Endereço: _____ Telefone: _____

Dados sobre a Pesquisa:

Título do Projeto: Reabilitação fisioterapêutica por meio de jogos digitais: uma abordagem baseada em lógica fuzzy, câmera de profundidade e dispositivos vestíveis

Pesquisador Responsável: Tiago Pereira Remédio (e-mail: ensino@tiagoremedio.com.br)

Orientador: Prof. Dr. Alexandro José Baldassin (e-mail: alex@rc.unesp.br)

Endereço: Avenida 24 A, 1515 – Bela Vista – Rio Claro -SP Fone: 3526 4343

APÊNDICE B – TCLE Fisioterapeuta.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/12)

Convido o(a) senhor(a) a participar do projeto de pesquisa intitulado “Reabilitação fisioterapêutica por meio de jogos digitais: uma abordagem baseada em lógica fuzzy, câmera de profundidade e dispositivos vestíveis” sob minha responsabilidade, Tiago Pereira Remédio, RG: 43.479.152-0, aluno de mestrado do curso de pós-graduação em Ciências da Computação, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Rio Claro, tendo como orientador o Prof. Dr. Alexandro José Baldassin.

A pesquisa tem como objetivo analisar a usabilidade (pelo(a) fisioterapeuta) de um aplicativo de auxílio para reabilitação motora de membros inferiores e superiores com a utilização de câmera de profundidade para captura de imagem e sensores vestíveis (pulseira para medição da frequência cardíaca). A participação do(a) senhor(a) é importante pois através deste estudo será possível analisar a usabilidade de um sistema computacional para o auxílio do fisioterapeuta no tratamento de pacientes com limitação de amplitude de movimento articular. Espera-se que os resultados dessa pesquisa possam auxiliar fisioterapeutas a propor uma intervenção com utilização de aplicativo computacional e outras tecnologias.

O aplicativo permite obter dados corporais (i.e., frequência cardíaca e posição dos segmentos corporais no espaço de membros inferiores e superiores). O aplicativo consiste de um jogo projetado em um ambiente virtual através de um monitor, onde o participante (i.e., paciente) será representado por um avatar (i.e., figura humana virtual projetado no monitor que representa o participante). O jogo projetado nesse ambiente consiste em desafios motores que estimulam a movimentação articular dos segmentos corporais (e.g., alcançar com a mão um objeto localizado acima da altura da cabeça do participante ou na posição lateral, na posição ortostática).

A participação do(a) senhor(a) visa testar o aplicativo em um ambiente de reabilitação motora com seus pacientes. Antes de iniciar o uso do aplicativo com os pacientes o(a) senhor(a) será instruído e treinado quanto ao manuseio do aplicativo para as sessões de reabilitação motora. A coleta de dados quanto ao uso do aplicativo proposto e avaliação da amplitude articular do movimento, tanto por pacientes como por fisioterapeutas, consiste de um total de cinco dias consecutivos. O(a) senhor(a) realizará uma avaliação dos ângulos articulares (e.g. ombro, cotovelo, quadril e joelho) por meio da goniometria, no primeiro e último dia, antes do uso do aplicativo computacional. Além disso, o(a) senhor(a) realizará avaliação dos ângulos articulares do paciente pelo módulo do aplicativo, no início e ao final de cada sessão, durante os cinco dias consecutivos. Essa avaliação pelo aplicativo levará em torno de 10 minutos. Ainda, na primeira sessão, os participantes pacientes irão responder a uma anamnese elaborada pelo pesquisador solicitando dados sociodemográficos, estado geral de saúde, uso de ferramentas tecnológicas, entre outros. O(a) senhor(a), fisioterapeuta, irá realizar a sessão de reabilitação com o aplicativo junto ao paciente. Estarei sempre junto ao(a) senhor(a) e ao paciente durante a realização das sessões, em caso de necessidade. Ainda, se o(a) senhor(a) ou o paciente tiver restrições da minha presença durante o uso do aplicativo poderei me ausentar durante sua interação com o paciente no uso do aplicativo, aguardando na sala de espera da clínica, em caso de necessidade o(a) senhor(a) poderá me chamar para qualquer intercorrência com o uso do aplicativo.

O(a) senhor(a), fisioterapeuta, explicará ao paciente sobre a tarefa a ser realizada no jogo. O paciente realizará as tarefas do jogo assistindo a um monitor colocado a sua frente. A interação do paciente com o jogo terá duração total de 20 minutos. Na última sessão, ao final do uso do aplicativo, o(a) senhor(a) responderá a um questionário com relação a usabilidade do aplicativo (SUS – Escala de Usabilidade do Sistema - BROOKE, 1986). Esse questionário levará em torno de 10 minutos para ser respondido.

Os eventuais riscos de acidentes são mínimos, uma vez que o aplicativo integrado a uma câmera de profundidade e sensores vestíveis projetado para essa pesquisa atende aos padrões de segurança estabelecidos para uso. Os eventuais desconfortos que poderão ocorrer nessa pesquisa se limitam, por exemplo, à insegurança ou hesitação em usar o aplicativo integrado, pois não faz parte da sua rotina na clínica. Para minimizar tais desconfortos, estaremos sempre presentes, quando solicitados, para auxiliá-lo quanto ao uso do dispositivo durante a testagem junto ao paciente. Além disso, forneceremos orientações e treinamento a(o) senhor(a) a respeito das funções e formas de uso do aplicativo integrado antes de iniciar o uso com o paciente.

A qualquer momento o(a) senhor(a) poderá solicitar esclarecimentos sobre a pesquisa diretamente com os pesquisadores. Caso tenha necessidade poderá entrar em contato com o pesquisador responsável. Ressalto que o(a) senhor(a) não terá qualquer forma de despesa, bem como não será remunerado para participar do estudo. Informo que o(a) senhor(a) terá liberdade de desistir de participar do estudo a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Cabe informar que a sua identificação de participação na pesquisa não será divulgada, respeitando sua privacidade. Os seus dados pessoais serão mantidos em sigilo pelos pesquisadores.

Os resultados obtidos das avaliações serão identificados por meio de códigos (números e letras) e serão utilizados somente para fins científicos, o que inclui apresentação dos resultados da pesquisa em congressos e publicação de artigos em revistas científicas.

Se o(a) senhor(a) se sentir suficientemente esclarecido sobre os objetivos, os eventuais riscos e benefícios desse estudo, convido-o a assinar este Termo, elaborado em duas vias, sendo que uma ficará com o(a) senhor(a) e outra com os pesquisadores.

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Pesquisador Responsável

Assinatura do Orientador

Assinatura do Participante

Dados do participante:

Nome: _____ Data de Nascimento: ____/____/____

Endereço: _____ Telefone: _____

Dados sobre a Pesquisa:

Título do Projeto: Reabilitação fisioterapêutica por meio de jogos digitais: uma abordagem baseada em lógica fuzzy, câmera de profundidade e dispositivos vestíveis

Pesquisador Responsável: Tiago Pereira Remédio (e-mail: ensino@tiagoremedio.com.br)

Orientador: Prof. Dr. Alexandro José Baldassin (e-mail: alex@rc.unesp.br)

Endereço: Avenida 24 A, 1515 – Bela Vista – Rio Claro -SP Fone: 3526 4343

APÊNDICE C – Ficha de avaliação goniométrica.

AVALIAÇÃO GONIOMÉTRICA

Fisioterapeuta: _____

CREFITO: _____

Paciente: _____

Data De Nascimento: ___/___/_____ Idade: _____

Data Da Avaliação: ___/___/_____

Data Da Reavaliação: ___/___/_____

Articulação Membros Superiores	Amplitude De Movimento	Amplitude De Movimento
	AVALIAÇÃO	REAVALIAÇÃO
Ombro Direito - Abdução		
Ombro Esquerdo – Abdução		
Cotovelo Direito – Flexão		
Cotovelo Esquerdo – Flexão		
Cotovelo Direito – Extensão		
Cotovelo Esquerdo - Extensão		

Articulação Membros Inferiores	Amplitude De Movimento	Amplitude De Movimento
	AVALIAÇÃO	REAVALIAÇÃO
Quadril Direito - Abdução		
Quadril Esquerdo - Abdução		
Joelho Direito - Flexão		
Joelho Esquerdo - Flexão		
Joelho Direito - Extensão		
Joelho Esquerdo - Extensão		

APÊNDICE D – Anamnese.

FICHA DE COLETA DE DADOS

Avaliador: _____ Data: _____

ANAMNESE

Paciente: _____

Data de nascimento: __/__/____

Idade: _____ anos

Sexo: Masculino Feminino

Escolaridade: _____

Estado Civil: Casado Solteiro Viúvo Separado

Profissão: _____

Naturalidade: _____

Filhos: Não Sim – Quantos? _____

Endereço: _____ nº _____ Complemento: _____

Bairro: _____ Cidade: _____

Telefones: _____

Pratica Atividade Física: Não Sim – Quantas vezes por semana: _____

Há quanto tempo: _____ Qual tipo? _____

AVALIAÇÃO

Peso: _____ Altura: _____ IMC: _____ PA: _____ FC: _____

CONDIÇÕES CLÍNICAS

Óculos: Utiliza óculos para corrigir problemas de visão? Não Sim

Qual tipo de problema? _____

Audição: Utiliza aparelho para corrigir problemas de audição? Não Sim

Em qual ouvido? _____

Cirurgias: Realizou alguma cirurgia? Não Sim

Aonde? _____

Artrite: Não Sim

Artrose: Não Sim

Osteoporose: Não Sim

Reumatismo: Não Sim

Fraqueza: Não Sim

Labirintite: Não Sim

Enjoo: Não Sim

Vertigens: Não Sim

Cãibras: Não Sim – Onde? _____

Hipertensão não controlada: Não Sim

Asma / DPOC: Não Sim

Doença Coronária: Não Sim – Qual? _____

Tem alguma restrição à prática de Atividade Física? Não Sim

Qual? _____

Quedas: Não Sim – Há quanto tempo? _____

AVE: Não Sim – Há quanto tempo? _____

Parkinson: Não Sim – Há quanto tempo? _____

Alzheimer: Não Sim – Há quanto tempo? _____

1. Você utiliza tecnologias (e-mail, smartphone, etc.)? Quais?

2. Você já jogou jogos eletrônicos (videogame, fliperama, celular, etc.)? Quais? Há quanto tempo?

3. Você já utilizou videogames ativos? Qual?

APÊNDICE E – Modelo de relatório gerado pela ferramenta.



Relatório Fisio Guide - 06/10/2018, 08:30:51

Fisioterapeuta: Tiago Pereira Remédio

Credito: 193812

E-mail: contato@tiagoremedio.com.br

Paciente: Josivaldo Pena

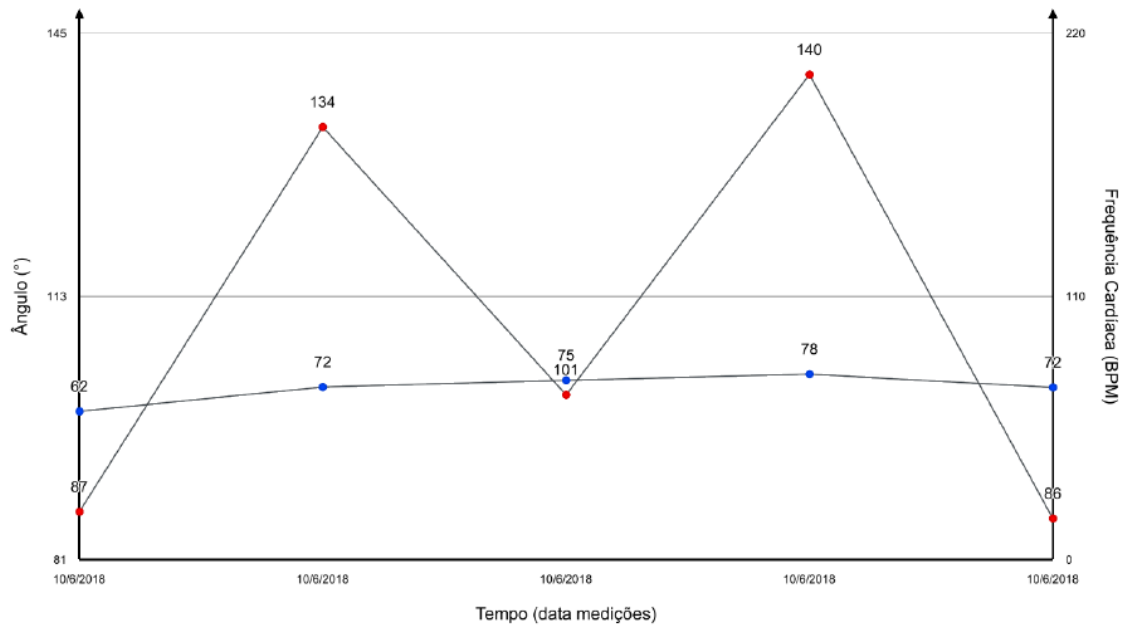
Data de nascimento: 09.08.1968

Endereço: Rua das Penas, 938 - São Paulo

Telefone: 19-999999999

E-mail: pena@gmail.com

Progresso Relativo ao Ombro Direito - Valores Máximos



Data: 06/10/2018, 08:19:29: **87.04776°**, 62 BPM (Avaliação)

Data: 06/10/2018, 08:24:40: **133.7355°**, 72 BPM (Jogo)

Data: 06/10/2018, 08:25:01: **101.2282°**, 75 BPM (Avaliação)

Data: 06/10/2018, 08:30:25: **140.1028°**, 77 BPM (Jogo)

Data: 06/10/2018, 08:30:43: **86.21937°**, 72 BPM (Avaliação)

Jogos - Passeio no Parque - Ombro Direito

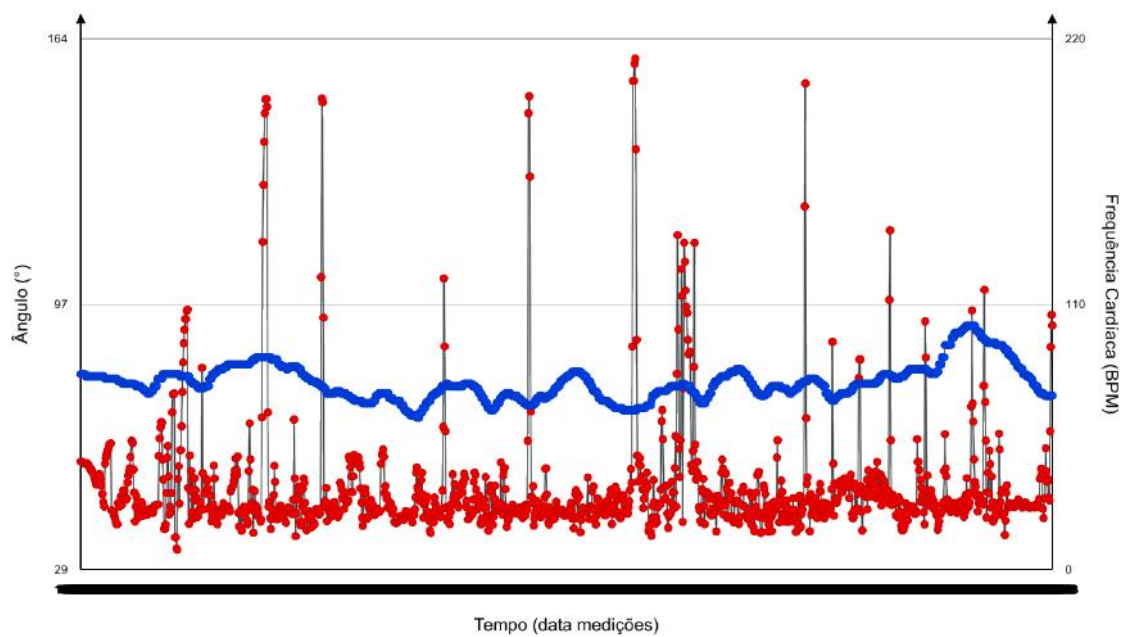
Data: 06/10/2018, 08:30:25

Valor máximo: **140.1028°**

Valor mínimo: **36.68358°**

Frequência cardíaca máxima: **101 BPM**

Frequência cardíaca média: **77 BPM**



- Ângulo
- Frequência Cardíaca

ANEXO A – SUS (*System Usability Scale*).

Questionário - SUS (*System Usability Scale*)

Identificação do paciente: _____

Data: ___/___/___

Instruções: Para cada uma das afirmações seguintes, marque apenas uma caixa que descreva melhor sua reação com relação a sua experiência com o sistema.

	Discordo completamente		Concordo completamente		
	1	2	3	4	5
1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Eu achei o sistema fácil de usar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Eu achei o sistema atrapalhado de usar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor, forneça qualquer comentário adicional sobre o sistema: