

FLOW PSICOFISIOLÓGICO EM JOGOS DIGITAIS: Inteligência Artificial em Jogos Sérios Multimodais para Reabilitação Respiratória

Claudinei Dias¹, André B. Leal¹, Marcelo da S. Hounsell¹

¹Departamento de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Joinville, SC – Brasil

prof.claudinei.dias@gmail.com, {andre.leal, marcelo.hounsell}@udesc.br

Abstract. *Serious exergames are resources that complement traditional therapies by promoting exercises with physiological demands similar to conventional methods, while also providing entertainment. It is essential to balance educational aspects and fun by properly adjusting difficulty levels to avoid risks to the patient. This study proposes the concept of Psychophysiological Flow, an extension of Flow Theory applied to multimodal exergames in physiotherapy, adapting effort based on health conditions. A literature review identified gaps in the use of Artificial Intelligence for such adaptation. The concept was applied in the exergame I Blue It, focused on respiratory muscle training, after interviews with 10 specialists. Deep Reinforcement Learning (DeepDDA) and the Proximal Policy Optimization technique were used to implement the Dynamic Difficulty Adjustment method. Psychophysiological Flow introduces a three-dimensional balance between difficulty, psychological performance, and therapeutic performance. It promotes safety (biosignal analysis), physical comfort (physiological flow), motivational comfort (psychic flow), and fun (digital game). The results show potential for application in other areas of healthcare.*

Keywords: Digital Game Design; Physical Rehabilitation; Dynamic Difficulty Adjustment; Artificial Intelligence; Serious Games.

Resumo. *Jogos sérios ativos (serious exergames) são recursos que complementam terapias tradicionais ao promover exercícios com demandas fisiológicas semelhantes aos métodos convencionais, além de oferecer entretenimento. É essencial equilibrar aspectos educacionais e diversão, ajustando adequadamente a dificuldade para evitar riscos ao paciente. Propõe-se o conceito de Flow Psicofisiológico, uma extensão da Teoria do Flow aplicada a exergames multimodais na fisioterapia, adaptando o esforço às condições de saúde. Uma revisão identificou lacunas no uso de Inteligência Artificial para esse ajuste. O conceito foi aplicado no exergame I Blue It, focado em treinamento muscular respiratório, após entrevistas com 10 especialistas. Usou-se Aprendizado por Reforço com Redes Neurais (DeepDDA) e a técnica Proximal Policy Optimization para implementar o método de Ajuste Dinâmico de Dificuldade. O Flow Psicofisiológico introduz o equilíbrio tridimensional entre os eixos dificuldade, desempenho psíquico e desempenho terapêutico e, promove segurança (análise dos biosinais), conforto físico (flow fisiológico), conforto motivacional (flow psíquico) e diversão (jogo digital). Os resultados têm potencial para outras áreas da saúde.*

Palavras-chave: Projeto de Jogos Digitais; Reabilitação Física; Ajuste Dinâmico de Dificuldade; Inteligência Artificial; Jogos Sérios.

1. Introdução

As modalidades terapêuticas promovem saúde e bem-estar por meio de exercícios específicos. Nesse contexto, os Jogos Digitais (JD) surgem como recursos motivadores, induzindo respostas fisiológicas semelhantes às da fisioterapia tradicional (Carbonera, 2016). Inseridos na Reabilitação Respiratória (RR), tornam as sessões mais atrativas (Wang et al., 2020) (Simmich; Deacon; Russell, 2019). JD com propósitos específicos são classificados como Jogos Sérios (JS) (Hounsell, 2024, p. 67), que agregam prazer, desafio e maior adesão ao tratamento (Butler et al., 2019) (Grimes; Santos; Hounsell, 2018). Quando envolvem exercícios físicos, são chamados de *exergames*, com potencial para aumentar a motivação e adesão (Milajerdi et al., 2021). A combinação de JS com exercícios físicos origina os Jogos Sérios Ativos (JSA), que, aliados a dispositivos multimodais com sensores, promovem melhores resultados terapêuticos e monitoramento de biosinais (Nery et al., 2020). No entanto, poucos estudos abordam o ajuste de dificuldade conforme a condição de saúde (Dias et al., 2020).

A Teoria do Flow (Chen, 2007), que busca equilibrar desafio e capacidade, pode ser associada à Inteligência Artificial (IA) (Cruz; Uresti, 2017), considerando não só aspectos psíquicos, mas também fisiológicos. Apesar disso, essa abordagem ainda é pouco explorada nos *exergames*. Em reabilitação motora, a IA já é aplicada com algoritmos evolucionários (Andrade et al., 2016), sistemas fuzzy (Valencia; Majin, 2018) (Pezzeri; Borghese, 2020) e aprendizado por reforço (Sekhavat; Iran, 2017), oferecendo oportunidades de personalização (Dias et al., 2020). Técnicas de IA permitem monitoramento contínuo e ajuste dinâmico de dificuldade (Sekhavat; Iran, 2017).

Diante disso, propõe-se o modelo conceitual Flow Psicofisiológico para JSA que equilibre diversão e benefício terapêutico, de forma que estenda a Teoria do Flow aos JSA considerando dimensões psíquicas e fisiológicas por intermédio de uma IA que promova o ajuste dinâmico de dificuldade aplicado por prova de conceito do Flow Psicofisiológico em um *exergame* para RR.

2. Estado da Arte

Foi realizado um Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) (Petersen; Vakkalanka; Kuzniarz, 2015). Posteriormente, foi feita uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (Kitchenham et al., 2009), metodologia aplicada para interpretar, analisar e sistematizar as evidências relevantes disponíveis nos artigos selecionados no MSL. Também foi realizada uma pesquisa complementar não sistemática, porém específica, sobre *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) em jogos digitais para reabilitação. Foram realizadas entrevistas com Usuários Finais Entendidos no domínio (UFE) (Hounsell, 2024, p. 67), conduzidas de forma semiestruturada para a elucidação e levantamento de requisitos de inteligência artificial para o JSA I Blue It, sob a aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH), sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) número 53002121.3.0000.0118. No contexto tecnológico foi projetado e implementado um DDA (Sekhavat; Iran, 2017) (Aggarwal, 2018) inteligente com aprendizado por reforço profundo e realizada a validação, executando-se demonstrações em entrevista semiestruturada com UFEs, e em seguida realizados testes funcionais para verificar o funcionamento do JSA I Blue It, seguidos de correções e ajustes.

Para pesquisar o tema “Uso da Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à Reabilitação Respiratória”, aplicou-se um MSL (Dias *et al.*, 2020). Foram selecionados 10 estudos relevantes na RSL, e constatou-se que há poucos artigos que propõem explicitamente o uso de IA em jogos digitais aplicados à reabilitação respiratória. As técnicas mais frequentes são *Decision Making e Intelligent Movement*, sendo esses grupos constituídos de uma coleção de algoritmos que são frequentemente utilizados em diversos gêneros de jogos digitais. Não foram identificados artigos abordando métodos de Ajuste Dinâmico de Dificuldade (DDA) durante o uso do jogo. Neste caso, decidiu-se realizar uma pesquisa complementar. Para isto, foi feita a busca de trabalhos publicados no período entre janeiro de 2016 até julho de 2024, com a *string* de busca: (“*virtual reality*” OR “*game*”) AND (*difficulty*) AND (*flow* OR *adapt** OR *adjustment* OR *scal**) AND (*physio** OR *rehabilitat** OR *therap**). Na pesquisa complementar, foram encontrados artigos que utilizam a IA para realizar o ajuste de dificuldade dos exercícios em JS para reabilitação, com base no desempenho do jogador (paciente) e com o objetivo de evitar que o desafio do jogo seja muito difícil, provocando frustração, ou muito fácil, provocando tédio. Ou seja, o ajuste dinâmico contribui para manutenção do *Flow*. Porém, não foram identificados trabalhos que proponham o ajuste da dificuldade aplicado à reabilitação respiratória. Neste contexto, conclui-se que existem inúmeras oportunidades para o uso da IA no desenvolvimento de JSA para auxiliar profissionais e pacientes da área de Reabilitação Respiratória.

3. Metodologia Flow Psicofisiológico em Exergames

A presente tese propõe o conceito de Flow Psicofisiológico em Jogos Digitais Multimodais para Reabilitação Respiratória (Dias, 2024), fundamentado na Teoria do Flow de Csikszentmihalyi (1990), adaptada ao contexto dos jogos por Chen (2007). O objetivo é integrar os aspectos mentais e fisiológicos dos pacientes em um estado contínuo de equilíbrio e adaptatividade, promovendo experiências terapêuticas imersivas, eficazes e motivadoras. O Flow Psicofisiológico (Figura 1) articula dinamicamente os fluxos psíquicos e fisiológicos do paciente durante a reabilitação, ajustando os desafios do *exergame* conforme o desempenho e as capacidades do jogador.

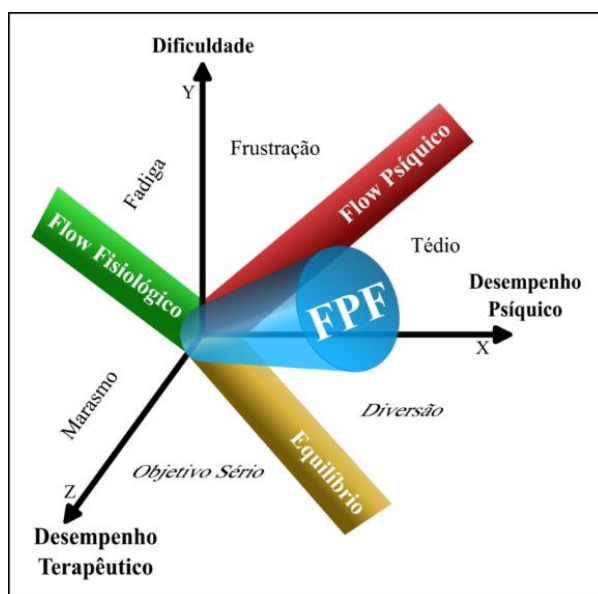


Figura 1. Representação do Flow Psicofisiológico (FPF)

No modelo proposto (Figura 1), o *flow* é representado por um cilindro tridimensional que equilibra frustração e tédio (XY), fadiga e marasmo (YZ) e diversão e objetivo sério (XZ). As medidas psíquicas e fisiológicas do jogo resultam no desempenho do jogador. O equilíbrio entre o objetivo sério e a diversão mapeados no plano ‘Desempenho Terapêutico’ *versus* ‘Desempenho Psíquico’, plano XZ, conduz a relação entretenimento *versus* saúde, buscando uma sinergia entre a condição de saúde do paciente e o esforço exigido pelo *exergame*, ajustando essas variáveis para mantê-lo e guiá-lo em um estado contínuo de *flow*.

4. Prova de Conceito

Doenças Respiratórias Crônicas (DRC) são responsáveis por cerca de 4 milhões de mortes anuais (Levine et al., 2021), 7% da mortalidade global (Soriano et al., 2020) e uma taxa média de mortalidade de 29,3/100 mil habitantes no Brasil (MSB, 2023). As DRCs causam 93,4% dos óbitos respiratórios e altos índices de reinternação (MSB, 2023). Essas doenças reduzem a função pulmonar e a qualidade de vida (Nápolis; Chiavegato; Nascimento, 2011) (Levine et al., 2021), exigindo terapias integrativas e individualizadas (Machado, 2018) (Simmich; Deacon; Russell, 2019).

O JSA *I Blue It* versão 4.0 foi selecionado para prova de conceito por contemplar a arquitetura de sistema interativo multimodal 123-SGR (Dias et al., 2023), que dispõe de três funcionalidades: flexibilidade, complementariedade e segurança. Para operacionalizar essa adaptação em tempo real, o modelo DDA composto tem três pilares:

1. Multimodalidade: Usa a arquitetura 123-SGR (Dias et al., 2023) que permite integrar e gerenciar sinais provenientes de diversas fontes, como dispositivos de controle e biosinais (conscientes e inconscientes);
2. Multidados: Dados atuais ou históricos, Dados medidos ou perguntados. Dados como saturação de oxigênio, pressão inspiratória e expiratória, frequência respiratória e *feedback* psíquico com opiniões emitidas pelo jogador como cansaço, esforço percebido (Escala de Borg), estado de humor, dentre outras;
3. Inteligência Artificial: Uso de IA para adaptação contínua da dificuldade com base nas respostas psíquicas e fisiológicas dos pacientes, promovendo com maior assertividade o equilíbrio do jogo entre diversão, objetivo sério e desempenho.

O módulo de DDA, nomeado de DeepDDA, é uma IA que gerencia conforto motivacional (Flow Psíquico), conforto físico (Flow Fisiológico), segurança (Monitoramento de Biosinais), diversão (Jogo Sério Ativo). O DeepDDA, é um módulo baseado em *Deep Reinforcement Learning* (DRL), implementado com o algoritmo *Proximal Policy Optimization* (PPO) (Schulman et al., 2017). Este agente utiliza duas redes neurais: uma para a política de ação e outra para estimativa de valor, permitindo ajustes contínuos e personalizados dos desafios. A taxa de aprendizado teve uma convergência estável, começando em $1.0e-4$ e diminuindo para 0.0002 ao longo de 500k *steps*. A Figura 2 ilustra a Fase 1 do JSA *I Blue It* com o agente DeepDDA operando no modo “Cérebro de Inferência”. Elementos interativos exibem dados como tempo, pontuação, taxa de sucesso e objetos coletados, representando observações psíquicas que compõem o desempenho do jogador. Simultaneamente, o agente coleta dados fisiológicos com base nas interações respiratórias do paciente ao alcançar os alvos e desviar dos obstáculos, integrando essas informações ao ajuste dinâmico do jogo.

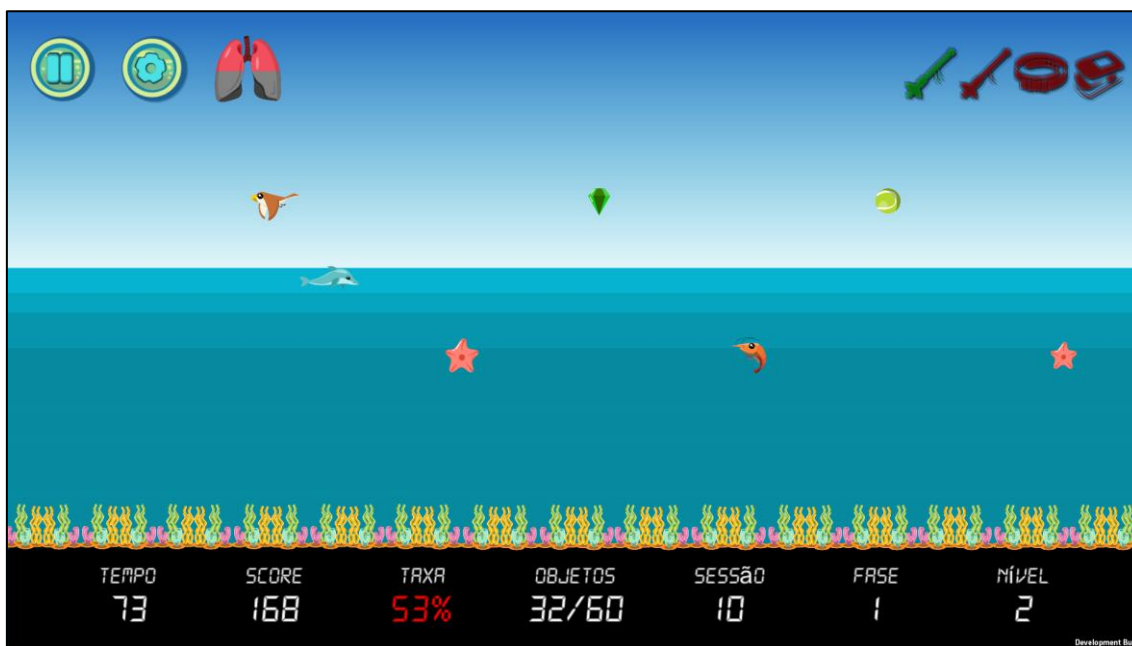


Figura 2. Ambiente do I Blue It

5. Considerações finais

O estudo propôs o conceito de Flow Psicofisiológico em jogos digitais aplicados à reabilitação, visando equilibrar esforço, desempenho terapêutico e psíquico do paciente. Esse equilíbrio é essencial para manter o engajamento e a eficácia dos tratamentos fisioterapêuticos. A solução foi implementada no *exergame* I Blue It, com o agente inteligente DeepDDA, que usa aprendizado por reforço (PPO) e redes neurais para ajustar dinamicamente a dificuldade dos exercícios com base em dados psíquicos e fisiológicos.

Com base nos resultados, que demonstraram a integração do conceito Flow Psicofisiológico com Inteligência Artificial no JSA I Blue It para reabilitação respiratória, espera-se maior suporte para desenvolvimento de *exergames* para reabilitação que proporcionem terapias personalizadas divertidas, adaptativas e engajadoras.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) pela bolsa de produtividade DT2 número 306613/2022-0 e pelo apoio ao PIBITI (Iniciação Tecnológica de Graduação), e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC-Brasil) pelo financiamento parcial dos laboratórios LARVA – T.O. 2023TR284 e GASR – T.O. 2021TR930.

Referências

- AGGARWAL, Charu C. (2018). Neural Networks and Deep Learning. *Springer International Publishing*. DOI 10.1007/978-3-319-94463-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-94463-0>. Acesso em: 20 jun. 2022
- ANDRADE, Kleber De O.; PASQUAL, Thales B.; CAURIN, Glauco A.P.; CROCOMO, Marcio K. (2016). Dynamic difficulty adjustment with Evolutionary Algorithm in

- games for rehabilitation robotics. *IEEE International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH*. DOI. doi.org/10.1109/SeGAH.2016.7586277
- BUTLER, Stacey J.; LEE, Annemarie L.; GOLDSTEIN, Roger S.; BROOKS, Dina. (2019). Active Video Games as a Training Tool for Individuals With Chronic Respiratory Diseases: A SYSTEMATIC REVIEW. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, vol. 39, no 2, p. 85–90. DOI. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000320>.
- CARBONERA, Raquel Pinto; VENDRUSCULO, Fernanda Maria; DONADIO, Márcio Vinícius Fagundes (2016). Physiological responses during exercise with video games in patients with cystic fibrosis: A systematic review. *Respiratory Medicine*, vol. 119, p. 63–69. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2016.08.011>.
- CHEN, Jenova (2007). Flow in Games - *CACM. Viewpoint*, vol. 50, no 4, p. 31–34.
- CRUZ, Christian Arzate; URESTI, Jorge Adolfo Ramirez. Player-centered game AI from a flow perspective: Towards a better understanding of past trends and future directions. *Entertainment Computing*, vol. 20, p. 11–24, 2017. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.02.003>.
- CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience. vol. 16. DOI. <https://doi.org/10.5465/amr.1991.4279513>.
- DIAS, Claudinei; NERY, Jhonatan Thallisson Cabral; HOUNSELL, Marcelo da Silva; LEAL, André Bittencourt (2023). A Multimodal Software Architecture for Serious Exergames and Its Use in Respiratory Rehabilitation. *Sensors*, vol. 23, no 21, p. 8870, 31 out. DOI. <https://doi.org/10.3390/s23218870>.
- DIAS, Claudinei; HOUNSELL, Marcelo da Silva; LEAL, André Bittencourt; ROMAGNO, Amilto; SOMA, SETO, Rodrigo Yuji; ENGLEITNER, Matheus; TONDORF, Diego Fellipe (2020). Uso da Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à Reabilitação Respiratória: um mapeamento sistemático da literatura. *SBC Proceedings of SBGames*. Recife, PE. Brazil: SBC Proceedings of SBGames, Games and Health, p. 10.
- DIAS, Claudinei. (2024). Flow Psicofisiológico em Jogos Digitais: inteligência artificial em jogos sérios multimodais para reabilitação respiratória. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville. Disponível em: <https://pergamumweb.udesc.br/acervo/167785>. Acesso em: 14 maio 2025.
- GRIMES, Renato Hartmann; SANTOS, Adam Mews dos; HOUNSELL, Marcelo da Silva (2018). O Processo de Design de um Sistema Biomédico com Jogo Sérioso e Dispositivo Especial para Reabilitação Respiratória. XVII SBGames, *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, p. 215–224.
- KITCHENHAM, Barbara; PEARL BRERETON, O.; BUDGEN, David; TURNER, Mark; BAILEY, John; LINKMAN, Stephen (2009). Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. *Information and Software Technology*, vol. 51, no 1, p. 7–15. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>.
- HOUNSELL, Marcelo da Silva (2024). Abordagens da ludificação digital no ensino. In: MANOEL OSMAR SEABRA JUNIOR; MARIA LUIZA SALZANI FIORINI; GISELE SILVA ARAÚJO; JANIELE DE SOUZA SANTOS UCHELLI; ANA

- PAULA DONATAN RIBERIRO (orgs.). Jogos Digitais e Analógicos como Tecnologia Assistiva na Educação Especial: modelos didático-metodológicos. 1o ed. Goiania: *SOBAMA*. vol. 1, p. 62–82.
- LEVINE, Stephanie; MARCINIUK, Darcy; AGLAN, Amro; CELEDÓN, Juan C; FONG, Kwun; HORSBURGH, Robert; MALHOTRA, Atul; MASEKELA, Refiloe; MORTIMER, Kevin; REDDE, Hellen; RICE, Mary; SIMONDS, Anita. (2021). The Global Impact of Respiratory Disease. Third Edition. 22 jul.
- MACHADO, Maria da Glória Rodrigues. (2018) Bases da Fisioterapia Respiratória: terapia intensiva. 2o ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- MILAJERDI, Rafiei Homa; SHEIKH, Mahmoud; NAJAFABADI, Mahboubeh Ghayour; SAGHAEI, Behnaz; NAGHDI, Naser; DEWEY, Deborah. (2021). The Effects of Physical Activity and Exergaming on Motor Skills and Executive Functions in Children with Autism Spectrum Disorder. *Games for Health Journal*, vol. 10, no 1, p. 33–42. DOI. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0180>.
- MSB, Ministério da Saúde do Brasil (2023). Perfil epidemiológico dos óbitos de pessoas não identificadas no Brasil, 2015 a 2021. *Boletim Epidemiológico*, vol. 54, p. 1–20.
- NÁPOLIS, Lara Maris; CHIAVEGATO, Luciana Dias; NASCIMENTO, Oliver. (2011). Série Atualização e Reciclagem em Pneumologia: Fisioterapia Respiratória. São Paulo, Volume 3: Editora Atheneu.
- NERY, Jhonatan Thallisson Cabral; ANDREAS, Yuri; HENRIQUE, May; HOUNSELL, Silva. (2020). 123-SGR: Uma Arquitetura para Jogos Sérios Multimodais para Reabilitação. *SBC Proceedings of SBGames*. Recife, PE. Brazil: *SBC Proceedings of SBGames, Games and Health*, p. 900–909.
- PETERSEN, Kai; VAKKALANKA, Sairam; KUZNIARZ, Ludwik. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, vol. 64, p. 1–18. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>.
- PEZZERA, Manuel; BORGHESE, N. Alberto. (2020). Dynamic difficulty adjustment in exer-games for rehabilitation: a mixed approach. *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2020*. DOI. <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201871>.
- SEKHAVAT, Yoonas A.; IRAN, Tabriz. (2017). MPRL: Multiple-Periodic Reinforcement Learning for difficulty adjustment in rehabilitation games. *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2017*. DOI. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2017.7939260>.
- SIMMICH, Joshua; DEACON, Anthony J.; RUSSELL, Trevor G. (2019). Active video games for rehabilitation in respiratory conditions: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, vol. 21, no 2. DOI. <https://doi.org/10.2196/10116>.
- SORIANO, Joan B.; KENDRICK, Parkes J.; PAULSON, Katherine R.; GUPTA, Vinay; ABRAMS, Elissa M.; ADEDOYIN, Rufus Adesoji; ADHIKARI, Tara Ballav; ADVANI, Shailesh M.; AGRAWAL, Anurag; AHMADIAN, Elham; ALAHDAB, Fares; ALJUNID, Syed Mohamed; ALTIRKAWI, Khalid A.; ALVIS-GUZMAN,

- Nelson; ANBER, Nahla Hamed; ANDREI, Catalina Liliana; ANJOMSHOA, Mina; ANSARI, Fereshteh; ANTÓ, Josep M.; VOS, Theo. (2020). Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine*, vol. 8, no 6, p. 585–596. DOI. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30105-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30105-3).
- VALENCIA, Yessica; MAJIN, Jhon. (2018). Applications for Upper Limb Rehabilitation.
- WANG, Ya Qing; LIU, Xin; MA, Rui Chen; YIN, Ying Ying; YANG, Zhuo; CAO, Hui Ping; XIE, Jiao. (2020). Active Video Games as an Adjunct to Pulmonary Rehabilitation of Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, vol. 99, no 5, p. 372–380. DOI. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001341>.