



DESENVOLVIMENTO DE JOGOS SÉRIOS PARA UM DISPOSITIVO ROBÓTICO PARA AUXILIAR NA REABILITAÇÃO DO PUNHO

Lucas Pinheiro Moraes, lucas3.14nheiro@gmail.com¹

Lorena Souza Furtado Brito, lofurtado@gmail.com¹

Rogério Sales Gonçalves, rsgoncalves@ufu.br¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia/MG, 38408-016

Resumo. *O objetivo deste artigo é descrever os jogos sérios que estão sendo desenvolvidos para trabalhar em conjunto com um dispositivo robótico na assistência da reabilitação do punho humano. Como o dispositivo permite os principais movimentos do punho, os jogos sérios devem receber os movimentos do usuário e entender se o paciente é capaz de mover o dispositivo ou não, ajudando-o no caso de alguma dificuldade.*

Palavras chave: *fisioterapia, reabilitação robótica, jogo sério.*

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento dos primeiros jogos eletrônicos, com o jogo “Tennis for Two” de William Higinbotham, em 1958 (Leite, 2006), a humanidade vem buscando aprimorar esses sistemas na tentativa de serem cada vez mais úteis no entretenimento. Estima-se que, ao longo dos anos, houve um crescimento na produção desses jogos e na compra deles também, mostrando que o mundo os aceitou de forma hegemônica como ferramenta de entretenimento. Com os avanços da tecnologia e a crescente necessidade de aprimoramento das ferramentas eletrônicas utilizadas no auxílio ao homem para suas atividades cotidianas e científicas, os jogos eletrônicos se apresentam como uma possível alternativa de complemento dessa realidade.

Para se adequar às essas novas necessidades, o conceito de jogos sérios foi criado, sendo primeiramente mencionado por Clark C. Abt (1987). Jogos sérios são jogos em que há um desafio mental para o jogador, com a utilização de uma máquina, para aprimoramentos na saúde, educação, políticas públicas, treinamentos corporativos ou governamentais, entre outros (Rego et al., 2010; Zyda, 2005).

Paula Rego et al. (2010) afirmam que as abordagens tradicionais de tratamento em reabilitação se utilizam de exercícios muitas vezes monótonos e repetitivos. Desta forma, o uso dos jogos de computador com a finalidade de reabilitação pode oferecer um potencial benefício terapêutico. Os jogos sérios requerem a movimentação física e trabalho cognitivo do paciente em reabilitação, exigindo um nível de atenção e interesse que esses jogos conseguem cativar. Além disso, esses jogos fornecem ao jogador uma sensação de desafio e, à medida que atingem os objetivos dos jogos, a sensação de progresso e adaptação é gerada, além de ser um mecanismo de manejo da dor. Assim é notável que o uso de jogos sérios possa transformar uma atividade comum e repetitiva em algo mais agradável para o paciente, motivando-o a continuar evoluindo para melhorar (Finco, 2010).

É importante ressaltar que os jogos sérios, apesar de desenvolvidos com o propósito geral de reabilitação, têm foco na adaptabilidade, ou seja, que o paciente, em seu nível de lesão ou de dificuldade consiga jogar em um sistema que se adapte à sua demanda, trabalhando com o controle de impedância (Perez, 2014) ou outra metodologia de auxiliar quando necessário, para fornecer uma interação dinâmica com o paciente.

Em estudo realizado na aplicação de jogos sérios com pessoas que sofreram acidente vascular encefálico (AVE), Rego et al. (2010) e Bechkoum (2008) puderam constatar que pacientes pós AVE apresentam diversas debilidades, não só cognitivas, mas motoras também e a utilização de jogos sérios que estimulam esses pacientes teve resultados, em geral, significativos, em que ocorreu melhora no processo de reabilitação.

Portanto, a intenção deste artigo é apresentar dois jogos sérios que estão sendo desenvolvidos para trabalhar com o protótipo do dispositivo robótico para reabilitação do punho humano.

2. CINESIOLOGIA E REABILITAÇÃO DO PUNHO

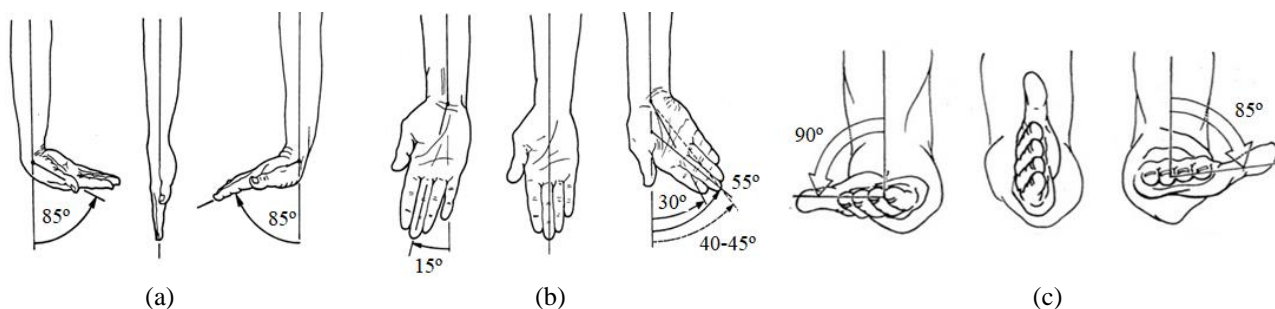
A reabilitação é um processo dinâmico de adaptação planejado a partir da mudança no estilo de vida de uma pessoa, em reação a uma situação traumática, seja física ou cognitiva. Em um primeiro momento, o conceito de “restaurar a função motora” seria o principal objetivo da reabilitação. No entanto, a partir de estudos posteriores, foi proposto que o foco da reabilitação não está na cura, mas em viver com tanta liberdade e autonomia quanto possível, para que este paciente se adapte com os recursos disponíveis (Gunasekera & Bendall, 2005).

Desta forma, o treinamento robótico pode oferecer várias vantagens potenciais na reabilitação, incluindo boa repetibilidade, assistência ou resistência precisamente controlável durante os movimentos e medidas quantificáveis de desempenho do paciente. Além disso, o treinamento com robôs pode fornecer o tipo de treinamento intensivo e orientado para tarefas que se mostrou eficaz para promover a aprendizagem de movimentos (Barbosa et al., 2018; Gonçalves e Krebs, 2017; Gonçalves et al., 2016; Gonçalves et al., 2013; Ribeiro et al., 2013).

A fim de fornecer reabilitação para pacientes com problemas no punho, primeiro é necessário entender que, se houver uma lesão nessa área, os movimentos serão alterados. No entanto, esses movimentos ocorrem de várias maneiras, dada a própria anatomia do membro.

O punho é a articulação que liga a mão ao antebraço, possuindo dois graus de liberdade, o que possibilita os movimentos de flexo-extensão, Fig. 1(a), e abdução-adiução Fig.1(b). Além desses movimentos, a mão também pode ser girada, utilizando o antebraço e a articulação do cotovelo, caracterizando os movimentos de pronação e supinação, Fig. 1(c), (Kapandji, 2000).

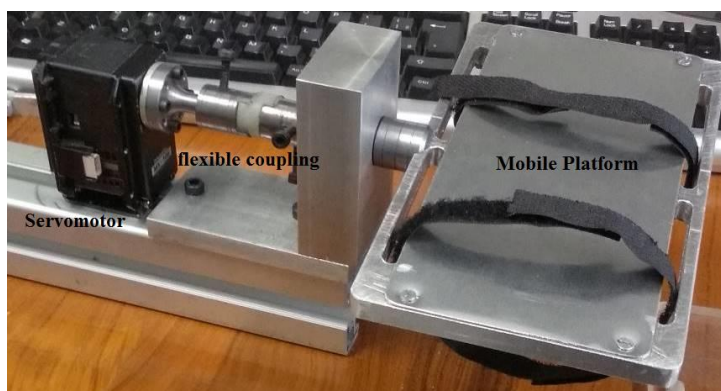
Figura 1. (a) Movimentos de flexão-extensão; (b) Movimentos de abdução-adiução; (c) Pronação e Supinação



3. DISPOSITIVO

O protótipo robótico, Fig. 2, é composto por um servomotor (modelo MX-106, Dynamixel), que possui um controlador PID interno que armazena sua posição, velocidade e o torque aplicado ao motor. O controle do protótipo foi feito utilizando o software Matlab®. O software desenvolvido permite manipular os dados armazenados do motor, ler e escrever comandos para este.

Figura 2. Imagem do dispositivo montado sem o sistema elétrico/de controle

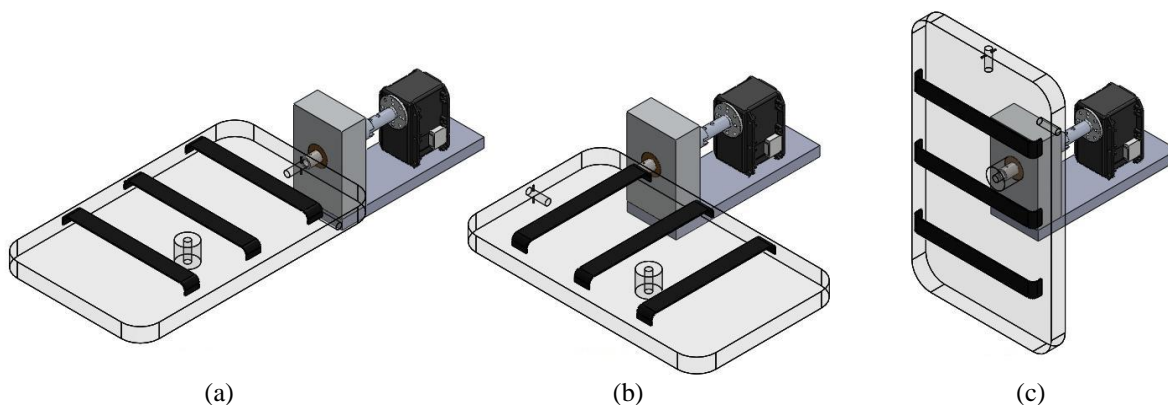


Conectado ao servomotor MX-106 há um acoplamento flexível que se conecta a uma placa de alumínio (plataforma móvel) na qual a mão do paciente fica posicionada.

A plataforma móvel pode ser configurada para ser utilizada em todos os movimentos individuais do punho, Fig. 1, desta forma o dispositivo pode ser ajustado, conforme o tipo de lesão do paciente.

Uma faixa elástica ortopédica de alta compressão é usada para prender as mãos dos pacientes à placa móvel. Essa fita ortopédica proporciona mais conforto, além de evitar o deslizamento da mão do paciente sobre a placa e mantê-la esticada durante o teste.

Figure 3. Configurações da plataforma móvel. (a) Pronação-Supinação; (b) Flexão-extensão; (c) Abdução-adução



4. JOGOS SÉRIOS

Os jogos sérios desenvolvidos para uso com o dispositivo de módulo robótico utilizam o software Matlab para se comunicar com o servomotor do dispositivo, lendo os dados enviados por seus sensores. Entre esses dados, é possível ler a corrente entregue ao motor, torque aplicado, posição e velocidade. É possível enviar ao servomotor os dados da posição, velocidades e torque a serem atingidos. Depois de trocar os dados entre o servomotor e o Matlab, uma conexão UDP (*User Datagram Protocol*) é usada para a transmissão desses dados para os jogos sérios, que são responsáveis por armazenar pacotes contendo dados nas portas de rede do computador. Este método é extremamente eficiente, pois não requer a espera pela confirmação da recepção dos dados, portanto, é capaz de enviar grandes quantidades de dados rapidamente

A interface gráfica dos jogos sérios é feita utilizando o “*game engine*” Unity3D, que utiliza a linguagem de programação C #, desenvolvida pela empresa Microsoft baseada na linguagem de programação orientada a objeto C++, para compor os comportamentos dos objetos presentes nos jogos. O desenvolvimento da jogabilidade tem como conceito principal ser de simples compreensão ao paciente e ter características com as quais possa se relacionar, a fim de estabelecer proximidade entre ambos. A justificativa para isso é que, uma vez que o paciente esteja em alguma forma de deficiência, a necessidade de ganhar sua atenção e interesse no tratamento usando jogos sérios é maior devido às dores e desconfortos naturalmente causados por essa inaptidão que tornam o exercício de algumas atividades pouco atraente (Burke et al., 2009; Pereira et al., 2019).

Utilizando essas diretrizes, dois jogos sérios estão sendo desenvolvidos no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para serem utilizados em conjunto com o dispositivo de reabilitação do punho. Cada um dos jogos pode ser usado em qualquer uma das configurações da plataforma móvel, Fig. 3.

4.1. Basket Balls

O jogo sério Basket Balls (BB) foi desenvolvido com foco no movimento de flexão-extensão. Nele, quando o paciente gira a mão, o mesmo movimento é transmitido ao jogo, girando a plataforma de madeira que está no centro da tela. Devido às bolas serem capazes de colidir com a tábua, o movimento dela é usado para direcionar as diferentes bolas coloridas para as cestas da mesma cor. Essas bolas são a pontuação do jogo, em que, para cada bola colocada corretamente em sua cesta, o paciente é recompensado com um ponto. Apesar de haver apenas uma cesta azul e uma vermelha, o que implica a existência apenas das bolas azul e vermelha, há também as bolas especiais de cor verde, que dão mais pontos ao jogador se forem colocadas na cesta oposta que a paciente colocou a última bola corretamente. Desta forma, o paciente é estimulado fisicamente e cognitivamente.

Além disso, o BB apresenta uma mecânica não punitiva, de modo que não há penalidades por erros dentro do jogo, apenas a não atribuição de pontos. Isso é para deixar o paciente mais relaxado em relação ao jogo, reduzindo a pressão sobre ele. De fato, o jogo não apenas apresenta mecânica não punitiva, mas também tem um sistema de auxílio que visa detectar se o paciente é capaz de continuar jogando. Caso contrário, o software Matlab envia comandos para o servomotor para que ele possa realizar os movimentos sozinho.

Na primeira versão do jogo, este sistema de auxílio é ativado se o software desenvolvido percebe-se que, após uma rotina de verificação, a velocidade média do jogador estava abaixo de uma constante de velocidade inicialmente definida. Neste ponto, o software altera seu comportamento de acordo com os seguintes modos:

- Movimento não assistido: o paciente pode mover livremente o dispositivo da plataforma móvel enquanto o jogo sério captura esses movimentos e os reproduz no objeto controlado por ele. Enquanto isso, o software Matlab armazena as velocidades instantâneas do jogador em um intervalo de tempo, após o qual ele compara a média dessas velocidades com um valor predefinido. Se essa média for menor que o valor padrão, após

cinco verificações, esse modo de jogo é finalizado para o início do Modo de Movimento Levemente Assistido.

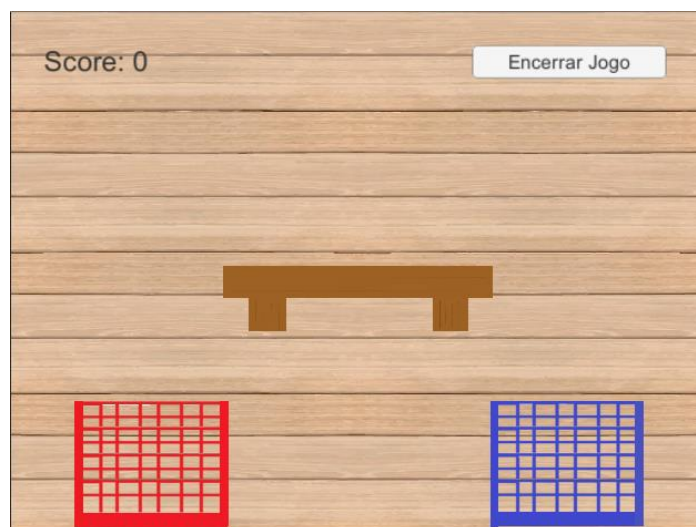
- **Modo de Movimento Levemente Assistido:** O paciente não movimentará mais o dispositivo livremente, tendo apenas que fazer um leve movimento na direção desejada para que o software detecte a direção na qual ele deve fazer o servomotor se mover. Assim, o motor imprime uma velocidade e torque no sentido desejado de rotação, para auxiliar o movimento do paciente. Se, após uma nova rotina de verificação, for constatado que o paciente realizou menos movimentos do que o esperado em um intervalo de tempo, o Modo de Movimento Automático é iniciado.
- **Modo de Movimento Automático:** O software Matlab desenvolvido assume o controle total do movimento do aparelho, definindo qual bola deve ser gerada no jogo, de modo que envie tanto a trajetória a ser executada pelo servomotor quanto a trajetória da plataforma de madeira no jogo.

Nos modos de jogo assistido sempre há uma verificação da quantidade de corrente sendo transmitida ao servomotor para realizar o movimento. Caso este valor esteja acima dos valores esperados para a execução normal do movimento, o modo assistido é interrompido e retorna ao modo de movimento não assistido. Isso ocorre pelo sistema entender que o motor está aplicando mais torque na mão do paciente, pois o paciente aplica torque ao contrário do movimento, o que pode significar que a amplitude de rotação suportada pelo paciente foi alcançada, evitando desconforto ao paciente.

Após os testes realizados com pessoas saudáveis, verificou-se que o sistema utilizado para detectar a necessidade de usar os modos auxiliares deixou margens para melhorias, tornando-se necessário atualizá-los para a versão dois.

Na versão dois do BB, os diferentes modos de jogo estão sendo trocados por um único modo fluido de movimento, que começa com a aquisição de dados, armazenamento de parâmetros, das amplitudes passivas de movimento do paciente e a posição angular inicial do sistema (posição inicial de plataforma móvel). À medida que a quantidade de erros sobe, o MATLAB envia comandos para que o módulo robótico execute torque e velocidade progressivos, assumindo o controle do jogo mais e mais dinamicamente. Este padrão se repete até o quinto erro, no qual o MATLAB assume o controle total do jogo, movendo-se corretamente para garantir a pontuação. Assim, o sistema de controle permite uma compreensão de se o paciente está jogando realmente e tendo dificuldades ou se ele não está tentando jogar.

Figura 4. Cena principal do jogo, onde a plataforma de madeira é controlada pelo jogador e há duas cestas, uma vermelha e uma azul, e o principal objetivo é colocar, dentro da cesta, a bola que coincide com a sua cor



Para finalizar uma sessão do jogo sério é necessário clicar no botão superior direito da tela, como na Figura 4 (Encerrar Jogo). Isso exibirá a pontuação final do paciente, bem como o número de erros e a duração da sessão. Para auxiliar o fisioterapeuta o jogo é programado para armazenar esses dados, juntamente com o nome do paciente e data da sessão, em um arquivo separado para fácil referência.

4.2. Coinllector Cars

O jogo Coinllector Cars (CC) tem como um movimento preferencial a abdução-adução. O objetivo do jogo é usar o carro para pegar as moedas que são geradas no final da rua, na intenção de que o paciente, ao realizar os movimentos, tenha uma sensação semelhante ao de controlar o carro, movendo o volante.

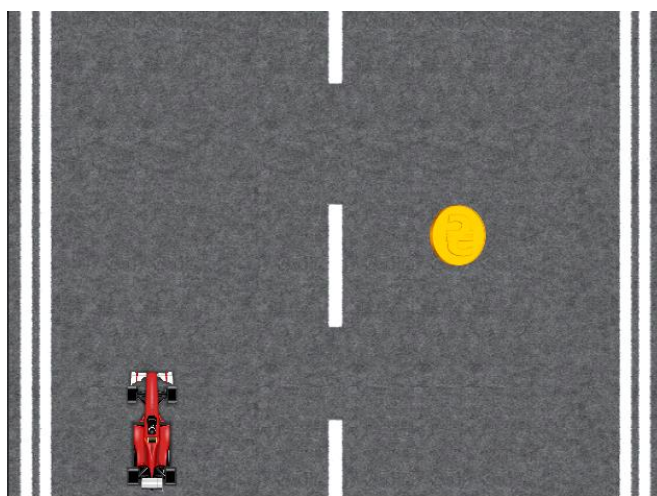
Como o BB, o CC também armazena como parâmetros a amplitude passiva máxima do paciente e a posição angular central do dispositivo. Esta informação é traduzida em coordenadas ao longo do eixo X, cuja origem está no centro da

tela, movendo o carro horizontalmente para a esquerda ou direita de acordo com o movimento do paciente. Para isso, a posição angular central é colocada como a coordenada 0 do eixo X, e as amplitudes máximas de movimento são definidas como as posições X em que o carro está no limite da rua. A tradução destes dados é feita a partir de uma simples multiplicação, que utiliza as variações angulares do servomotor.

Na Figura 5, o cenário do jogo é apresentado, bem como um exemplo da moeda a ser coletada pelo jogador para pontuar. Para serem coletadas, o carro controlado pelo paciente deve entrar em contato com as moedas que são geradas no topo da tela, região correspondente ao final da rua. Há cinco moedas diferentes, todas com o mesmo valor para a pontuação. Esta diferença existe como um elemento visual, com a intenção de chamar a atenção do jogador para os símbolos que aparecem nas moedas.

O CC também contará em sua versão final, com um sistema de dificuldade ajustável de acordo com o desempenho do paciente, variando dinamicamente a velocidade de translação das moedas conforme o paciente adquire mais pontos e a taxa de pontos em função do tempo permanece elevada.

Figura 5. Cenário principal de Coinllector Cars, as moedas são aleatoriamente geradas dentro de três posições no final da rua simulada na tela



5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados dois jogos sérios desenvolvidos para utilização em conjunto com o protótipo robótico para reabilitação do punho humano. Este protótipo utiliza de um controle assistido auxiliando os pacientes quando necessários.

Os jogos sérios foram desenvolvidos para permitir tanto a reabilitação funcional e cognitiva dos pacientes em função dos movimentos individuais do punho humano.

Entre os trabalhos futuros sugeridos estão o desenvolvimento de jogos mais sérios e fazer testes experimentais com voluntários saudáveis e pacientes.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao UFU, FAPEMIG, CNPQ e CAPES – Código de Finanças 001 pelo apoio financeiro parcial a este Trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Azevedo, V. de A., 2012. Jogos eletrônicos e Educação: construindo um roteiro para sua análise pedagógica. Master's thesis. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Barbosa, A. M., Carvalho, J. C. M., Gonçalves, R. S., Cable-driven lower limb rehabilitation robot. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. (2018) 40:245. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1172-y>.
- Burke, J. W.; McNeill, M.; Charles, D.; Morrow, P.; Crosbie, J.; McDonough, S., 2009. Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke, Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, Coventry, pp. 103-110. 25 th ABCM International Congress of Mechanical Engineering October 20-25, 2019, Uberlândia, MG, Brazil

- De Moraes, R. A. F., Rezende, A. R., Gonçalves, R. S., Development of a Software for Coaching of Paralympic Sport Shooting. 2015 12th Latin American Robotics Symposium and 2015 3rd Brazilian Symposium on Robotics. 10.1109/LARS-SBR.2015.29.
- Finco, M. D., 2010. Wii fit : um videogame do estilo de vida saudável. Master's thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., Lobato, F. S., Design of a robotic device actuated by cables for human lower limb rehabilitation using self-adaptive differential evolution and robust optimization. Bioscience Journal, (2016) 32(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n1a2016-32436>.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., Ribeiro, J. F., Salim, V. V., Cable-driven robot for upper and lower limbs rehabilitation, (2014) Handbook of Research on Advancements in Robotics and Mechatronics, pp. 284-315. 10.4018/978-1-4666-7387-8.ch011.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., Robot modeling for physical rehabilitation. (2014), Robotics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications, IGI Global, 1212-1232. 10.4018/978-1-4666-4607-0.ch058.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., Rodrigues, L. A. O., Barbosa, A. M., Cable-driven parallel manipulator for lower limb rehabilitation. (2013) Applied Mechanics and Materials 459, pp. 535-542. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.459.535>.
- Gonçalves, R. S., Krebs, H. I., MIT-Skywalker: Considerations on the Design of a Body Weight Support System, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017) 14:88. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0302-6>.
- Gonçalves, R. S., Soares, G., Carvalho, J. C. M., Conceptual design of a rehabilitation device based on cam-follower and crank-rocker mechanisms hand actuated. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. (2019) 41:277. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1772-1>.
- Gunasekera, W. S. L., and Bendall, J., 2005. Rehabilitation of Neurologically Injured Patients, Moore A.J., Newell D.W. (eds) Neurosurgery. Springer Specialist Surgery Series. Springer, London.
- Hogan, N. Impedance Control: An Approach to Manipulation. American Control Conference, 1984 IS - SN - VO -, n. March, p. 304–313, 1985.
- Ibarra, J. C. P., 2014. Controle de impedância adaptativo aplicado à reabilitação robótica do tornozelo. Master's thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Kapandji, A. I., 2000. "Fisiologia Articular" 5 ed., vol. 1., Pinheiros, SP: Panamericana.
- Krischak, G. D., Krasteva, A., Schneider, F., Gulkin, D., Gebhard, F. and Kramer, M., 2009. Physiotherapy After Volar Plating of Wrist Fractures Is Effective Using a Home Exercise Program. American Congress of Rehabilitation Medicine.
- Leite, L. C. (2006). Jogos eletrônicos multi-plataforma: Compreendendo as plataformas de jogo e seus jogos através de uma análise em design. Master's thesis. Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro - PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
- Ma, M. and Beekhoum, K., 2008. Serious Games for Movement Therapy after Stroke. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2008), 1872-1877. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2008.4811562>
- Pereira, L. B., Barbosa, D. D., Gonçalves, R. S. (2019). Development of Games Controlled by Kinect to Spine Physical Therapy. 16th IEEE/RAS-EMBS International Conference on Rehabilitation Robotics.
- Rego, P., Moreira, P. M. and Reis, L. P., 2010. "Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy," 5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, Santiago de Compostela, pp. 1-6. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5556674&isnumber=5556594>
- Ribeiro, J. F., Carvalho, J. C. M., Oliveira, L. P., Rodrigues, L. A. O., Gonçalves, R. S., Robot for wrist rehabilitation, (2013), Mechanisms and Machine Science 7, pp. 451-458.
- Robotis e-Manual – Dynamixel MX Series (MX-64 e MX-106). 1 Nov. 2017.
- Zyda, M. (2005). From Visual Simulation to Virtual Reality to Games. IEEE Computer, 38(9), 25-32.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.