

# Sistema de Reabilitação Fisioterapêutica baseado em Jogos com Interfaces Naturais

Luiz José Schirmer Silva

Luiz Eduardo Viegas Flores

Marcos Cordeiro D'Ornellas

Cesar T. Pozzer

Universidade Federal de Santa Maria  
Departamento de Eletrônica e Computação  
Laboratório de Computação Aplicada



Figura 1: Versão final de jogo para pacientes hemiplégicos

## Resumo

Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um jogo para apoio à área fisioterapêutica utilizando o Microsoft Kinect. O objetivo é introduzir um método de suporte ao tratamento convencional de lesões através do dinamismo gerado pelos jogos. Os dados da execução dos exercícios são armazenados em um banco de dados, gerando *feedback* para o fisioterapeuta. O programa apresentado é uma simulação do *nine hole peg test* usado como exercício para pacientes com distúrbios de movimentação do braço. Para a implementação do jogo foram desenvolvidos algoritmos de detecção de movimento baseados na interação entre a Unity 3D e o Kinect, por meio do plugin Zigfu. Espera-se que o aplicativo seja desejável para os profissionais de reabilitação motora como um método para incentivar os pacientes a exercitarem-se de maneira lúdica e controlada.

**Palavras-chave:** Kinect; Jogos; Fisioterapia;

### Contato do autor:

{luiz, lvflores, ornellas, pozzer}@inf.ufsm.br

## 1. Introdução

Não são raras as ocorrências de lesões sofridas em alguma das articulações do corpo, provavelmente causadas por acidentes, esforços repetitivos ou problemas vasculares. O entendimento das diversas formas de interação entre os músculos na geração de movimento é importante para o diagnóstico de enfermidades e a posterior correção fisioterapêutica do problema. Entretanto, o processo de reabilitação, envolve exercícios repetitivos e por muitas vezes considerado exaustivo ou doloroso para o paciente, o

que pode dificultar sua recuperação e em alguns casos causar a evasão ao tratamento. Neste contexto, o surgimento de novas tecnologias de detecção de movimento a baixo custo tornou possível o desenvolvimento de aplicações para a área fisioterapêutica. Estratégias que incluam o uso de tecnologias para o tratamento de pessoas com deficiência motora têm sido um dos principais tópicos de discussão nas áreas de ciências da saúde [Chang, Chen e Huang 2011]. O interesse sobre o tema também tem movimentado discussões nos principais portais sobre desenvolvimento de jogos e de interfaces naturais. Os tópicos abordados nos fóruns buscam estabelecer objetivos e requisitos para o desenvolvimento de software nesse meio, bem como a implementação de jogos que possibilitem um tratamento auxiliar aos exercícios fisioterápicos regulares. De acordo com as discussões, esses aplicativos devem gerar dados confiáveis sobre o movimento realizado, devem garantir que os movimentos executados no ambiente de jogo sejam relevantes à sua condição, devem adicionar ludicidade e dinamismo ao tratamento e principalmente devem adequar-se às limitações do paciente.

Existem ainda pacientes que possuem dificuldades motoras relacionadas a problemas neurais, nos quais a deficiência de movimento não tem origem na capacidade física do indivíduo, e sim no cérebro. O tratamento deste tipo de desordem é baseado em estímulos ao sistema nervoso do paciente, que incluem a visualização da correta execução do movimento em conjunto com os exercícios regulares e outros estímulos visuais, como a representação de atividades e movimentos que são realizados no cotidiano, ou seja, conceitos que podem ser facilmente explorados através de jogos.

Baseando-se nessas premissas, foi utilizado o Microsoft Kinect como plataforma para desenvolvimento de um sistema baseado em um jogo para apoio ao processo de reabilitação fisioterapêutica. O sensor escolhido é um dos mais utilizados atualmente no desenvolvimento de *games* baseados em captura de movimento, pois tem um mecanismo de detecção com um grau de precisão adequado a proposta e financeiramente acessível.

O jogo consiste na implementação de um *puzzle* onde cada paciente é estimulado a realizar algum dos movimentos feitos em sessões de fisioterapia relacionadas à sua condição. Dados sobre a evolução do jogador são armazenados em um log e posteriormente enviados a um banco de dados. A questão da reabilitação neural será enfatizada através da escolha de atividades que permitam ao usuário um grau de auto visualização no mundo de jogo com a realização do movimento.

Neste artigo é apresentada a lógica por trás do jogo implementado: uma representação virtual do *nine hole peg test* [Mathiowetz, Weber, Kashman e Volland 1985] desenvolvida para pacientes com distúrbios de movimentação do braço e deficiência no movimento de abdução lateral de uma das metades do corpo (hemiplegia) [Minutoli, Delfino, Freitas, Lima, Tortoza e dos Santos 2007].

## 2. Fundamentação Teórica

Para justificar a utilização do Microsoft Kinect como dispositivo de entrada para a captura de movimentos, foi realizado um estudo comparativo das recentes soluções para o problema da criação de jogos voltados à reabilitação fisioterapêutica. De acordo com Schönauer, Pintaric e Kauffman, um dos aspectos primários para o desenvolvimento dessas aplicações é o sistema de interação, que deve ser simples e o mais pervasivo possível pela tecnologia utilizada. O processo de mensuração de ângulos e amplitude de movimento de articulações do corpo é denominado goniometria [Marques 1997]. A medição pode ser realizada de diversas formas, cada uma com prós e contras, sendo a técnica tradicional realizada através de um instrumento parecido com um esquadro, denominado goniômetro e outras envolvendo o uso de acelerômetros ligados às articulações do paciente. Para o sistema de jogos apresentado neste artigo, a goniometria é um método de obtenção de dados úteis para os fisioterapeutas e foi o fator crucial para a escolha da tecnologia a ser utilizada no desenvolvimento da aplicação, pois a mesma poderia ser realizada pelo sensor do Kinect, concomitantemente à execução dos jogos.

Algumas soluções existentes para o desenvolvimento de aplicações voltadas à área de fisioterapia em união com jogos envolvem o uso de acelerômetros para *games* que envolvem movimentação. Esta ideia tem a vantagem de gerar informações precisas sobre o exercício realizado, mas tem como desvantagem a limitação de exercícios passíveis de implementação, pela falta de versatilidade

do dispositivo e seu uso envolve a disposição de acessórios (os sensores) no paciente [Deutsch 2008].

Outras abordagens utilizam conceitos de visão computacional e uma webcam para estimar o movimento dos pacientes em seu campo de detecção. Este processo depende de configuração do algoritmo de detecção, dependendo das características físicas do paciente, ou pode ser realizado através do uso de acessórios como uma luva colorida para a calibração, o que pode dificultar a obtenção de dados confiáveis sobre a movimentação do paciente [Schönauer, Pintaric e Kauffman 2011].

A solução trazida pela Microsoft através do Kinect [Microsoft 2011] tem uma abordagem livre da conexão de acessórios ao paciente, o que por si só é um atrativo para o problema da reabilitação fisioterapêutica. A detecção do usuário através do sensor de profundidade do dispositivo gera um mapeamento 3D das articulações do esqueleto do mesmo em um conjunto de pontos. O processo de calibração é feito pelo próprio aparelho, que é alimentado por algoritmos de aprendizagem de máquina para reconhecer os diversos estereótipos de indivíduos, inclusive reconhecendo usuários que estejam sentados, o que é muito útil para pacientes em cadeira de rodas. Os pontos gerados pela detecção alimentarão o processo de goniometria usado pelos profissionais de saúde como método de avaliação. O Kinect tem a desvantagem de ter uma taxa de atualização relativamente baixa, não detectando precisamente movimentos muito rápidos ou sutis. Mesmo assim, a análise dos fatores positivos levou à conclusão que o Kinect, dentre as tecnologias estudadas, representa o melhor custo-benefício para o processo de reabilitação fisioterapêutica na detecção de movimento e retorno de dados relevantes sobre o mesmo. O aparelho ainda traz a possibilidade de instalação na própria casa do paciente, podendo gerar uma prática complementar aos exercícios realizados com supervisão do fisioterapeuta.

## 3. Processo de desenvolvimento

Para o desenvolvimento deste jogo, foram utilizados conceitos adquiridos na fase de coleta de requisitos junto a fisioterapeutas. As técnicas utilizadas para coleta foram observação direta do tratamento regular de pacientes, entrevistas com os fisioterapeutas e *brainstorming* sobre os tipos de jogos a serem abordados, além da opinião de diversos pacientes e fisioterapeutas sobre os empecilhos do tratamento convencional.

### 3.1 Desenvolvimento do Jogo para reabilitação motora

O jogo desenvolvido teve como base o processo de medição de amplitude de movimento e o ângulo entre as articulações descritas na bibliografia referente à área da Fisioterapia, como também os requisitos obtidos na observação dos pacientes e das necessidades dos fisioterapeutas. O programa criado busca estimular os

pacientes a repetir movimentos úteis à sua reabilitação e também avaliar sua evolução.

Neste artigo é apresentado o *game virtual nine hole peg test* que possui como base uma técnica utilizada na Fisioterapia para avaliação da coordenação motora. Sua execução é simples: o jogador deverá pegar objetos em um “recipiente” e coloca-los em uma “prateleira”, com seus espaços devidamente marcados, dentro de um limite de tempo. O jogo visa não apenas a realização do movimento de abdução [Marques 1997] como também a estimulação visual de pacientes que possuam alguma deficiência neuronal.

O jogo foi desenvolvido utilizando a técnica de prototipação iterativa [Preece, Rogers e Sharp 2011] com ciclo de vida simples, e em suas primeiras versões, codificado utilizando a SDK Microsoft Kinect e o próprio formulário da Microsoft (WPF) na linguagem C# (Figura 2). Primariamente o objetivo era ambientar o usuário em um ambiente 2D. No protótipo citado, o usuário deveria movimentar-se de modo a “pegar” círculos coloridos em um baú e “inserir-los” nos quadrados coloridos correspondentes. A coloração dos círculos era gerada randomicamente, com a eventual aparição de uma bomba-relógio, que se não “colocada” na lixeira em tempo estipulado pelo jogo, ocasionaria em fim de jogo para o usuário. Caso o jogador terminasse de inserir os círculos em todos os quadrados, ele terminaria com sucesso o exercício, e o tempo seria catalogado pelo sistema. Em qualquer caso (derrota ou vitória), a maior angulação do movimento de abdução do braço seria salva em um arquivo para posterior análise.

A jogabilidade deste protótipo foi testada com pacientes hemiplégicos, portadores de diversos graus de deficiência de movimento de um dos lados do corpo. Evidenciaram-se alguns problemas com a análise dos resultados do teste: seria necessário um maior grau de imersão para os pacientes, principalmente tratando-se dos sintomas neuronais mencionados anteriormente. Além disso, constatou-se que a distância do jogador até o baú não pode ser fixa, pois cada paciente tem um grau de deficiência e pode não conseguir alcançar o objeto, necessitando que o jogo se adapte a dificuldade do paciente.

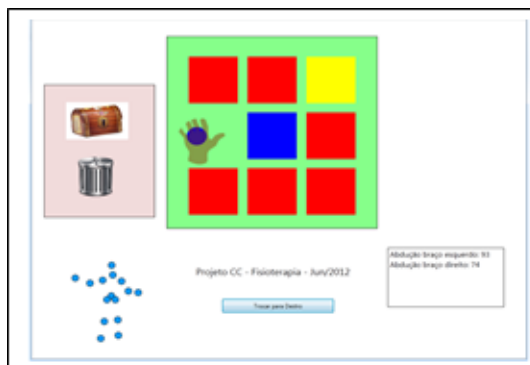


Figura 2: Protótipo de baixa fidelidade

Em consequência disso, o segundo protótipo foi desenvolvido fazendo uso da *Engine* “Unity 3D” [Unity3D 2011]. A imersão do usuário no jogo foi

explorada nesta versão com o senso de realidade trazido por um ambiente tridimensional em conjunto com a interação natural trazida pelo Kinect e a simulação da física dos objetos produzida pela Unity3D. Além disso, o software adapta-se ao grau de deficiência física do paciente através do ajuste da distância do “baú de objetos” no mundo de jogo. Isto também torna possível a manutenção da dificuldade do jogo com o progresso do jogador no tratamento.

A integração do Microsoft Kinect com a Unity3D foi feita através do plugin ZDK [ZigFu 2012]. O plugin abstrai os comandos do sensor advindos da SDK Microsoft Kinect [Microsoft 2011] para inicializar e gerenciar as operações do dispositivo. Através de scripts ligados a um objeto da Unity 3D, o *plugin* gera o mapeamento do jogador no ambiente 3D. Com o posicionamento do usuário e as coordenadas 3D das suas articulações geradas pelo sensor, é possível determinar a atualização das posições de objetos no mundo de jogo gerado pela Unity. Esse mapeamento possibilita a definição de vetores entre os pontos da mão, ombro e quadril, que serão utilizados no algoritmo de goniometria.

Em conjunto com o ZDK, são gerados objetos da Unity que são atribuídos a cada um dos pontos mapeados pelo Kinect. No jogo criado, como apenas serão necessárias as posições referentes aos membros superiores e quadris, as demais articulações são ignoradas no cálculo. Portanto, no script, cada articulação relevante é representada por um *gameObject*, que tem sua posição atualizada em média de 30 vezes por segundo, conforme a taxa de atualização do Kinect.

O plugin ZDK tem a desvantagem de não permitir a inserção de novos pontos de controle para o esqueleto, mas isto não foi um empecilho para a aplicação, pois os pontos já existentes foram suficientes para a criação do jogo para pacientes com hemiplegia. Justifica-se, então, a escolha do ZDK pela sua facilidade de integração entre Unity e Kinect.

A angulação é calculada por duas funções que fazem uso do produto escalar entre os vetores criados. Essas funções foram desenvolvidas de forma genérica para possibilitar a sua utilização não somente no cálculo de exercícios do braço, mas de qualquer articulação detectada pelo Kinect. A função *ângulo* recebe como parâmetros dois vetores, obtidos através da subtração entre as *transforms* (posições no mundo de jogo) da Unity referentes ao objeto sobre o qual deseja-se obter o ângulo. A função *goniometria* recebe o tipo de exercício, dentre uma lista, e chama a função *ângulo* para retornar o ângulo definitivo entre as articulações requeridas. A lista de exercícios pode englobar diversas articulações, mas neste artigo, é tratado apenas o exercício referente ao movimento de abdução.

Para evitar a execução de movimentos errôneos, o cálculo do ângulo é apenas realizado quando o usuário alcança os objetos no “baú”, e obedece às regras definidas pelo conceito do movimento de abdução [Marques 1997]. Para isto, foram criados objetos adicionais ao esqueleto do usuário no mundo de jogo. Estes objetos foram denominados objetos de controle e

estão fora da trajetória estimada do movimento requerido como válido. Caso ocorra uma colisão entre objetos referentes às articulações e os objetos de controle, o movimento é considerado errôneo e o usuário deve voltar à posição inicial para reiniciar a avaliação.

### 3.2 Sistema de armazenamento de dados

Para a construção da base de dados foi utilizado o MySQL, um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), que utiliza a linguagem SQL como interface [MySQL 2012].

A utilização de uma arquitetura cliente-servidor permite que os fisioterapeutas tenham acesso remoto a base de dados contendo o log dos jogos, para análise da evolução de seus pacientes. O servidor tem suporte multiusuário visto que vários jogos podem ser executados ao mesmo tempo em vários computadores e cada usuário pode ter um tratamento individual, sendo as requisições ao servidor feitas através de *sockets*. A linguagem utilizada foi o C# juntamente com a plataforma .net.

São armazenados no banco de dados os resultados relevantes de cada paciente, como movimentos realizados, amplitude de movimento e o registro da sessão de jogo.

## 4. Conclusão e Trabalhos Futuros

O jogo apresentado neste artigo busca aprimorar o tratamento de reabilitação fisioterapêutica através da adição de dinamismo e ludicidade aos exercícios regulares. A pesquisa focou-se na identificação dos requisitos necessários ao desenvolvimento de software neste meio e de métodos computacionais para a implementação de goniometria através de uma representação tridimensional das articulações do usuário.

A solução encontrada para validar os movimentos, baseada na interação dos objetos Unity 3D, tem o intuito de ser genérica e foi criada não somente para a utilização na validação de angulação de articulações em jogos, mas aplicações que requeiram medição goniométrica utilizando o Microsoft Kinect. Acredita-se que essa solução seja eficaz para facilitar a criação de aplicativos nesta plataforma que requeiram medição angular de movimentos dos usuários.

A utilização do plugin ZDK para integração com a Unity3D foi útil para abstrair a comunicação do sensor com a *Engine* Gráfica, e obtenção das posições de articulações do usuário. Embora a precisão e taxa de atualização sejam limitadas, de acordo com o sensor, o que pode comprometer algumas aplicações, não chegou a ser um empecilho no jogo criado.

Acadêmicos do curso de Fisioterapia estão elaborando um conjunto de testes, com pacientes, para o jogo criado e para o sistema de goniometria com o intuito de validar o aplicativo e os dados gerados para sua futura utilização em um sistema completo de apoio à reabilitação fisioterapêutica. Este será composto por diferentes jogos relacionados a diferentes distúrbios

motores, bem como a criação de um website para consulta ao banco de dados, alimentado com a execução dos exercícios. Ademais, está em desenvolvimento uma API que visa abstrair a implementação dos cálculos de goniometria, a comunicação com o ZDK e o sistema de armazenamento de dados a fim de auxiliar o desenvolvedor na criação desses jogos.

## Referências

- CHANG, Y., CHEN, S. AND HUANG, J., 2011. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. In: Research in Developmental Disabilities Volume 32(6), 2566–2570.
- DEUTSCH, J.E., BORBELY, M., FILLER, J., HUHN, K. AND GUARRERA-BOWLBY, P., 2008. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. In: Physical Therapy, v. 10, n. 88, p. 1196–207, 2008.
- MATHIOWETZ, V., WEBER, K., KASHMAN, N. AND VOLAND, G., 1985. Adult norms for the Nine Hole Peg Test of finger dexterity. In: Occupational Therapy Journal of Research, Vol 5(1), 24–38.
- MARQUES, A. P., 1997. Manual de Goniometria. 2ª ed. São Paulo: Editora Manole 1997. p.1–11.
- MICROSOFT, 2011. Kinect for Windows SDK Documentation. Disponível em: <http://microsoft.com/en-us/kinectforwindows/> [Acesso em 20 de Fevereiro 2012].
- MINUTOLI, V.P., DELFINO, M., DE FREITAS, M., LIMA, M.O., TORTOZA, C. E DOS SANTOS, C.A., 2007. Efeito do movimento passivo contínuo isocinético na hemiplegia espástica. Em: Rev. Acta Fisiatria. SP, 2007.
- MySQL, 2012. MySQL: Documentation. Disponível em: <http://www.mysql.com/> [Acesso em 1º de Junho 2012].
- PREECE, J., ROGERS, Y. E SHARP, H., 2011. Design de Interação: Além da interação homem-computador. São Paulo: Bookman, 2011.
- SCHÖNAUER, C., PINTARIC, T. E KAUFFMAN H., 2011. Full Body Interaction for Serious Games in Motor Rehabilitation. In: Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference, Article No. 4.
- UNITY 3D, 2011. Unity 3D: Documentation. Disponível em: <http://unity3d.com/support/documentation/> [Acesso em 18 de Outubro 2011].
- ZIGFU, 2012. ZDK for Unity 3D. Disponível em: <http://www.zigfu.com/en/zdk/unity3d> [Acessado em 1º de Junho 2012].