



## **RASPBODY: UM PROTÓTIPO DE SISTEMA PARA ANÁLISE CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HUMANO UTILIZANDO RASPBERRY PI E CÂMERAS DE INFRAVERMELHO**

### **RASPBODY: A PROTOTYPE FOR KINEMATIC ANALYSIS OF HUMAN MOVEMENT USING RASPBERRY PI AND INFRARED CAMERAS**

**Autores:** Gabriel SILVEIRA<sup>ab</sup>, Antônio Sautirio FERNANDES-JÚNIOR<sup>b,c</sup>, Joelmir José LOPES<sup>d</sup>, Jonathan ACHE-DIAS<sup>d</sup>.

**Identificação autores:** a) Bolsista PIBITI/CNPq; b) alunos do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação; c) Bolsista PIBIC/Cnpq d) Orientadores - IFC-Campus Araquari.

### **RESUMO**

O objetivo do projeto foi desenvolver um protótipo de sistema de análise do movimento humano em 3D utilizando dois Raspberry Pi (com de câmeras infravermelho acopladas). A interface do sistema foi desenvolvida em Django (com Bootstrap). A partir da captura de marcadores reflexivos, fixados no corpo humano, o sistema deve reconstruir o movimento humano em modelo virtual mecânico 3D. Os algoritmos de rastreamento dos marcadores reflexivos foram desenvolvidos com uso da biblioteca OpenCV. O desenvolvimento do sistema de calibração e reconstrução 3D ainda não foi finalizado por completo. Nas próximas etapas do projeto o protótipo deve ser finalizado e testado.

**Palavras-chave:** biomecânica, visão computacional, rastreamento de objetos, sistemas embarcados

### **ABSTRACT**

The aim of this study was to develop a 3D prototype for human motion analysis using two Raspberry Pi (with infrared camera coupled). The system interface was developed in Django (with Bootstrap). The system must reconstruct human movement in a virtual mechanical 3D model from the capture of reflective markers fixed on the human body. The tracking algorithms of reflective markers were developed using the OpenCV library. The development of the 3D calibration and reconstruction system has not yet been fully completed. In the next steps of the project the prototype must be finalized and tested.

**Keywords:** biomechanics; computer vision; tracking; embedded systems

## INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Biomecânica é a área de estudo da Educação Física, Fisioterapia e Medicina, que estuda o movimento humano com base nos princípios da mecânica. A Biomecânica basicamente utiliza métodos de análise cinemática e cinética do movimento humano. A análise cinemática estuda a descrição do movimento humano em relação ao tempo e espaço, analisando movimentos de translação ou movimento linear, rotação ou movimento angular e movimentos combinados ou generalizados. Por outro lado, a análise cinética é ramo da biomecânica que estuda as forças que agem sobre o corpo (HAMILL, KNUTZEN e DERRICK, 2016).

Diversas técnicas computacionais têm sido utilizadas para análise cinemática do movimento humano, sendo a técnica de cinemetria a mais utilizada para reconstruir o movimento humano em ambiente computacional (HAMILL, KNUTZEN e DERRICK, 2016). A cinemetria utiliza a filmagem de um determinado movimento humano, onde marcadores de referência são fixados no corpo, para reconstruir o mesmo em ambiente virtual para análise em tempo real ou a posteriori. A empresa americana VICON produz o sistema de captura de movimento mais utilizado atualmente. Este sistema é utilizado tanto para reabilitação (PFEIFFER et al., 2018), quanto para análise de movimentos esportivos (TILP, WAGNER e MÜLLER, 2008), desenvolvimento de jogos virtuais e desenvolvimento de peças cinematográficas, como filme Avatar, um dos maiores sucessos do cinema mundial.

O sistema VICON utiliza câmeras de infravermelho para capturar os marcadores fixados no corpo humano. Contudo, o sistema completo, custa em torno de \$ 150.000,00. Este valor é bem expressivo quando convertemos para reais, mesmo para um laboratório de Biomecânica, que normalmente está dentro de Universidades, institutos de pesquisa, hospitais e clubes esportivos.

Portanto, desenvolver um protótipo de sistema de cinemetria 3D de baixo custo é importante para o desenvolvimento de pesquisas na área de Biomecânica, principalmente em grupos de pesquisa, hospitais e clubes esportivos que não tem condições financeiras para adquirir um sistema mais robusto.

## MÉTODO

O projeto teve cinco etapas: 1ª) levantamento de requisitos, onde foram levantados os requisitos funcionais básicos para o desenvolvimento do sistema; 2ª) adaptação de LED de infravermelho nas câmeras infravermelho (Raspberry Pi Camera Module v.1), onde foram fixados alguns LEDs em torno da câmera, similar as câmeras comerciais. 3ª) programação do algoritmo para captura (rastreamento) da posição dos pontos luminosos detectados nas imagens das câmeras utilizando o Raspberry Pi 3 como sistema de aquisição; 4ª) programação do algoritmo que reconstruirá o ambiente virtual 3D a partir da imagem das duas câmeras e 5ª) programação e construção do sistema de calibração, que possibilitará ajustar as dimensões reais das imagens e as dimensões virtuais, ou seja, quantos cm do mundo real equivalem a quantos pixels do mundo virtual nos eixos X, Y e Z.

Para programação foi utilizada a linguagem Python versão 3.6, as bibliotecas OpenCV e Numpy. A interface web foi desenvolvida em Django (com Bootstrap). Para o processo de calibração do sistema foi construído um calibrador do tipo volumétrico (em forma de cubo), utilizando canos de PVC e esferas reflexivas. O

calibrador tem 8 esferas reflexivas com distâncias definidas, que servem de referência para traduzir as distâncias do mundo real (centímetros) para o mundo virtual (pixel).

A detecção dos pontos reflexivos e o *tracking* dos mesmos foi realizado por meio de algoritmos de processamento e reconhecimento de imagens (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000; SCURI, 1999; GONZALEZ; WOODS, 2014) contidos na biblioteca OpenCV (biblioteca para a manipulação de imagens).

Diversos algoritmos foram pesquisados para este fim, como o *findContours* (detecta contornos na imagem) e algoritmos de detecção com blob (detecta uma aglomeração de pixels em determinado formato). Por fim, a solução para detecção dos pontos reflexivos foi desenvolvida baseada na utilização de histogramas de frequência da imagem. Não apresentaremos neste trabalho os algoritmos desenvolvidos, pois trata-se de um projeto contemplado com bolsa PIBITI/Cnpq com proteção de confidencialidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema possui um software principal que é executado em navegador Web em PC. O PC estabelece comunicação via Ethernet com dois ou mais Raspberry Pi 3 Modelo B, onde as câmeras de infravermelho são acopladas (figura 1).

Figura 1. Câmera do sistema embarcado: Raspberry PI com câmera acoplada (Raspberry Pi Camera v.1 NoIR infravermelho) e LED de infravermelho adaptados.



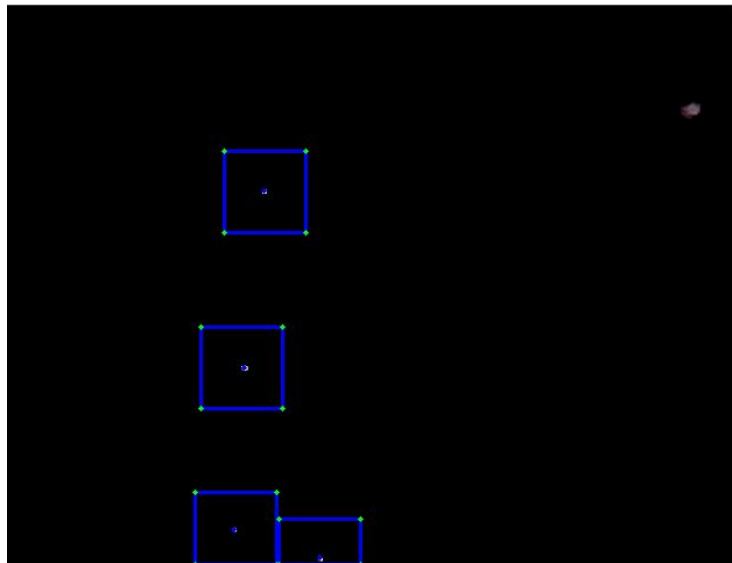
A interface do sistema faz todo controle das câmeras, processos de gravação, processamento de imagem e configuração dos atributos das câmeras. Na interface principal do sistema, há acesso ao *preview* das câmeras, configuração, calibração das câmeras e controle modelos biomecânicos utilizados nas coletas.

As câmeras detectam a reflexão de luz infravermelha emitida pelos LEDs acoplados na câmera, que atingem os marcadores reflexivos (figura 2).

Para fazer a detecção dos pontos reflexivos com uma maior precisão, alguns parâmetros da câmera foram manipulados, como brilho, o qual foi reduzido para que apenas os marcadores fossem detectados; contraste, o qual foi aumentado, assim os marcadores eram realçados; o *shutter speed*, o qual quando aumentado, onde a câmera fica menos tempo em contato com a luz, resultando em uma imagem mais fluida e sem borrões. Estes parâmetros que indicam a sensibilidade a luz e o fps (*frame per second*) indica o número de imagens que serão capturadas por segundo. O sistema utiliza imagens com resolução de 640 x 480 pixels e 90 fps.

Com a utilização desses parâmetros, a imagem gravada passa a possuir apenas os marcadores e alguns ruídos. Com a utilização de algoritmos de limiarização, esses ruídos foram parcialmente ou totalmente removidos da imagem. A partir desse ponto, utilizamos o algoritmos de rastreamento específicos, baseados na biblioteca OpenCV, sendo possível rastrear cada marcador (Figura 2), e identificar sua posição na imagem e seu diâmetro em pixels.

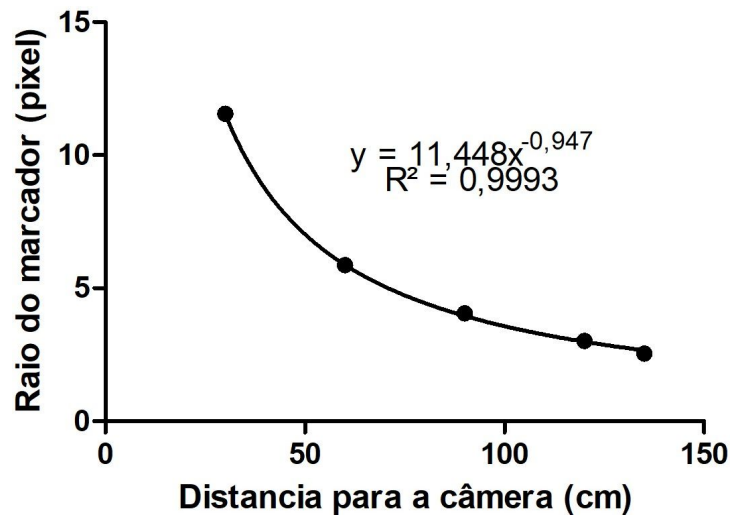
Figura 2. Resultado do algoritmo de detecção dos marcadores reflexivos na simulação da marcha humana. Visão lateral (plano sagital) dos pontos do quadril, joelho, tornozelo e ponta de pé (de cima para baixo).



O processo de calibração 3D da imagem ainda está em desenvolvimento. Até o presente momento já fizemos o processo de verificação do comportamento da relação entre distância do marcador luminoso até a câmera e a medida do seu diâmetro. Como podemos observar na figura 3, uma equação de potência explica esta relação, corroborando a literatura (COHEN, BRAVI & MINCIACCHI, 2017).

Figura 3.

Gráfico da equação que explica o raio do marcador (pixel) pela distância da câmera (cm) .



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema tem sido um desafio visto sua complexidade. Contudo, até o momento, boa parte das interfaces do sistema, os sistema de comunicação entre o PC e o Raspberry, os algoritmos de detecção e tracking dos marcadores reflexivos foram desenvolvidos. Além disso, foi construído o calibrador das câmeras com material alternativo. No presente momento, estamos na fase de finalização das interfaces do sistema de calibração e reconstrução 3D, onde provavelmente será demandado a maior parte do tempo do projeto, visto a complexidade matemática envolvida. Espera-se que até o final do projeto o protótipo esteja finalizado para entrar na fase de testes com humanos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Marcelo P.; ALBUQUERQUE, Márcio P. Revista de Ciência e Tecnologia: **Processamento de Imagens: Métodos e Análises**, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p.10-22, 2000.
- COHEN, E.J.; BRAVI, R.; MINCIACCHI, D. 3D reconstruction of human movement in a single projection by dynamic marker scaling. **Plos One**, v.12, n.10, 2017.
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento Digital de Imagens**, São Paulo, 3.ed. set.2014.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K.M.; DERRICK, T.R. Bases biomecânicas do movimento humano. 4 Edição. Manole: 2016.
- SCURI, Antônio E. **Fundamentos da Imagem Digital**, Rio de Janeiro, p.16-18, jan.1999.
- PFEIFFER, S.J. et al. Peak knee biomechanics and limb symmetry following unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: Associations of walking gait and jump-landing outcomes. **Clinical Biomechanics**, v. 53, p.79 – 85, 2018.
- TILP, M. WAGNER, H.; MÜLLER, E. Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements. **Sports Biomechanics**, v.7, n.3, p. 386-397, 2008.