



SÃO PAULO

FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA  
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA

## VISÃO COMPUTACIONAL E GONIOMETRIA APLICADAS NA REABILITAÇÃO PÓS LESÃO DA ARTICULAÇÃO DO JOELHO

### COMPUTATIONAL VISION AND GONIOMETRY APPLIED TO REHABILITATION AFTER KNEE INJURY

Fernando Pereira Mendes Laranjeiro<sup>1, i</sup>

Daniel Otávio Tambasco Bruno<sup>2, ii</sup>

#### RESUMO

Acidentes na articulação do joelho são muito frequentes; em muitos casos, é necessário a intervenção cirúrgica. Após a cirurgia, o paciente deve ser submetido a um tratamento de reabilitação incluindo sessões de fisioterapia. Para avaliação da evolução do paciente, medida através da Amplitude de Movimento (ADM) uma das técnicas utilizadas é a Goniometria. Fisioterapeutas podem encontrar dificuldade na manipulação e auxílio do paciente enquanto é realizada a leitura dos valores do goniômetro. Este trabalho tem como principal objetivo propor o desenvolvimento de um sistema de visão computacional, baseado na biblioteca *Open Source Computer Vision Library* (OpenCV) e linguagem Python para medição da amplitude de movimento (ADM) do paciente e conseqüentemente sua evolução. Através dos testes realizados, conclui-se que o método proposto é eficaz para a medição dos ângulos decorrentes da ADM.

Palavras-chave: Visão Computacional. OpenCV. Python. Amplitude de Movimento. Reabilitação. Goniometria.

#### ABSTRACT

Knee-joint accidents are very frequent; in many cases surgical intervention is necessary. After surgery, the patient should undergo rehabilitation treatment including several physical therapy sessions. For the evaluation of the patient's evolution, measured through ADM (Amplitude of movement) one of the techniques used is the Goniometry. Physiotherapists may find difficulty in manipulating and assisting the patient while reading the values of the goniometer. The main objective of this work is to propose the development of a computer vision system, based on the *Open Source Computer Vision Library* (OpenCV) and Python language for the measurement of the patient's range of motion (ADM) and consequently its evolution. Through the tests carried out, it is concluded that the proposed method is effective for measuring the angles arising from ADM.

**Keywords:** Computer Vision. OpenCV. Python. Amplitude of movement. Rehabilitation. Goniometry.

---

<sup>1</sup>Tecnólogo em Automação Industrial. E-mail:fernando.pmlaranjeiro@gmail.com

<sup>2</sup>Professor da Faculdade SENAI de Mecatrônica e Mestre em Engenharia da Informação. E-mail: daniel.bruno@sp.senai.br

Data de submissão: 24/02/2018

Data de aprovação: 25/07/2018

## **1 INTRODUÇÃO**

Traumas na região do joelho ocorrem por vários motivos, dentre eles, a prática de atividade física excessiva e/ou sem orientação, acidentes caseiros e acidentes automotivos são os grandes causadores de lesões nessa região. Nos automóveis isso acontece devido ao posicionamento dos usuários dentro do veículo expondo o joelho a um primeiro impacto, e na atividade física por causa da fadiga causada nos ligamentos que acabam por romper (inteiro ou parcialmente) e comprometem a articulação. Grande parte dessas lesões exigem intervenção cirúrgica e por consequência um processo de reabilitação com fisioterapia (ANDRADE; DELANO; FREIRE, 2007).

A avaliação da Amplitude de Movimento (ADM) do joelho durante o processo de reabilitação é realizada com um instrumento denominado Goniômetro Universal. Por se tratar de um equipamento puramente mecânico, o que acaba tornando-o de certa forma arcaico com algumas dificuldades de manuseio. Costa (2007), por exemplo, faz a utilização de sensores acelerômetros para medir o ângulo decorrente da amplitude do movimento. Depois de feita a medição, um sistema com micro controlador processa os valores medidos, calcula o ângulo e em seguida envia para um computador via comunicação serial para que seja exibido um gráfico com todos os dados de movimento.

A força do joelho é comprometida com a intervenção cirúrgica, e por isso é necessário que o fisioterapeuta auxilie o paciente. Sempre se preocupando se o movimento causa ou o quanto causa de dor.

Por se tratar de um instrumento que precisa ser posicionado na perna do paciente (quando na lesão do joelho) utilizando as duas mãos, o grau de dificuldade de posicionamento é alto e acaba tornando difícil a visualização do ângulo durante a leitura do instrumento. Estas características impedem o fisioterapeuta de ajudar o paciente com a execução do movimento.

Além da dificuldade de manuseio, o Goniômetro Universal ou Mecânico é muito similar a um transferidor no que diz respeito ao gabarito de visualização. A leitura do ângulo exercido pelo joelho é feita manualmente e causa interrupções durante a avaliação (ALVES; MARGI; SANTOS, 2012).

Vários estudos descrevem a melhoria da medição do processo evolutivo do paciente durante a reabilitação, dentre eles, destaca-se o trabalho desenvolvido pelo Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores em conjunto com o Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo. Neste estudo são aplicados sensores sem fio que funcionam a base de acelerômetros e geram em tempo real o ângulo decorrente do movimento entre eles. Além da medição em tempo real um software é responsável por gerar um gráfico que é utilizado para acompanhar o histórico evolutivo do paciente (ALVES; MARGI; SANTOS, 2012).

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema baseado em visão computacional que deixe livre as mãos do fisioterapeuta para que ele possa auxiliar os movimentos dos quais a avaliação exige e facilitar a leitura do ângulo decorrente do movimento em tempo real.

O método desenvolvido emprega a biblioteca de visão computacional OpenCV (*Open Source Computer Vision*) e linguagem Python. Segundo Ramos, Oliveira e Sales (2006):

Python é uma linguagem de programação orientada a objeto e de código aberto frequentemente usada para o desenvolvimento rápido de aplicações. Tendo sintaxe simples, com ênfase na legibilidade, redução do custo de manutenção do programa, enquanto sua vasta biblioteca de funções encoraja o reuso e a extensibilidade. (RAMOS; OLIVEIRA; SALES, 2006 apud KAY 2005).

O sistema proposto também tem como objetivo auxiliar o acompanhamento do processo de reabilitação em pacientes que sofreram procedimento cirúrgico na articulação do joelho. Sua utilização é simples, considerando que para o seu respectivo funcionamento é necessário apenas a utilização de um computador e uma câmera.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Está seção será dividida em três partes. A primeira chamada de Fundamentação Teórica, abordará as questões base utilizadas para o desenvolvimento do projeto apresentado neste artigo, detalhando sobre as principais características do joelho e sobre a goniometria.

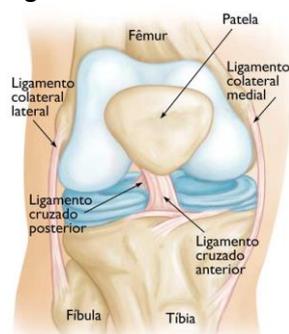
A segunda descrita como *Software*, biblioteca e programação, detalhará sobre a programação utilizada em Python e sobre o surgimento e história da biblioteca OpenCV.

A terceira parte denominada Metodologia, apresentará de maneira prática a utilização do software, detalhando sobre os principais cuidados que devem ser tomados para que o programa faça o cálculo correto do ângulo e sobre a restrição de posicionamento dos gabaritos.

### 2.1 Fundamentação teórica

Localizado entre dois grandes ossos, fêmur e tíbia de face irregular, apresentado na Figura 1, o joelho é uma articulação predisposta a lesões traumáticas, sendo considerado a articulação com o maior índice de lesões do corpo humano (ANDRADE; DELANO; FREIRE, 2007).

**Figura 1 - Joelho Humano**



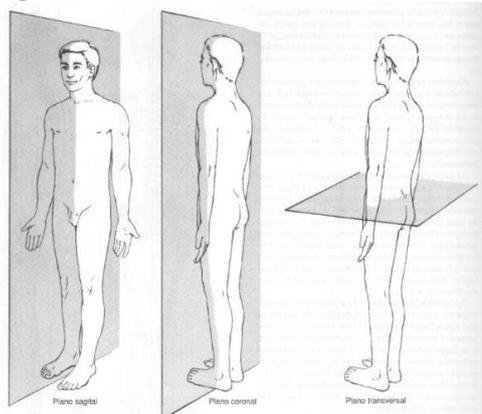
Fonte: Sociedade Americana de Ortopedia para a Medicina Esportiva (2015).

Dentre as principais causas de traumas no joelho está a prática de atividade física de alto impacto (VERSOLATO, 2016). Segundo a Sociedade Americana de Ortopedia para a Medicina Esportiva (2015), o estiramento ou ruptura do Ligamento Cruzado Anterior (LCA), é uma das principais lesões. Ao ser lesionado a chance de intervenção cirúrgica é grande, tendo

como objetivo reconstruir o ligamento afim de recuperar as funções do joelho. Fatores externos como gravidade do trauma e prática de atividade física sem orientação tem grande influência em determinar o quanto as funções da articulação foram comprometidas. Após o procedimento cirúrgico é a reabilitação que exerce o papel responsável por reestabelecer os movimentos e recuperar a força do joelho.

Existem três planos de execução de movimento, chamados de: sagital, coronal e transversal. Na Figura 2 estão exibidos os planos coronal, sagital e transversal da esquerda para a direita respectivamente.

**Figura 2 - Planos de referência de movimento do corpo humano**



Fonte: Kendall, et al, (1995)

Neste estudo o *software* desenvolvido será aplicado ao movimento de flexão e extensão do joelho, contudo não impede que seja aplicado em outros movimentos ou outras articulações desde que o goniômetro mecânico possa ser utilizado. Estes dois movimentos ocorrem no plano coronal (KENDALL, et al, 1995).

A flexão é um movimento anterior quando avaliamos a cabeça, pescoço, tronco, membros superiores e quadril (Figura 3). Entretanto, devido a anatomia dos membros inferiores, no joelho, tornozelo e artelhos, a flexão é um movimento posterior. Já a extensão é o movimento oposto. Para o joelho, que é o foco do nosso estudo, a extensão é um movimento anterior (KENDALL, et al, 1995).

**Figura 3 - Movimento de flexão membros superiores, cabeça, pescoço, tronco e quadril**



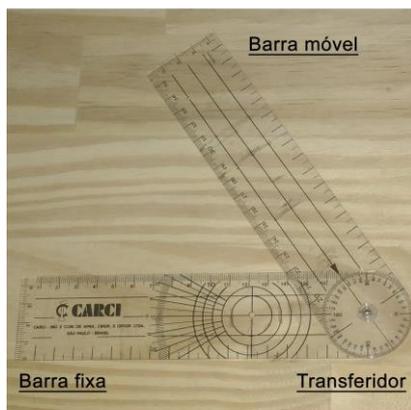
Fonte: Kendall, et al, (1995)

Dentre os processos de reabilitação está inserida a Goniometria. É conhecida como a técnica de avaliação baseada na medição de ângulo que surgiu das palavras gregas *Gonio*, que significa ângulo e *Metria* que significa medida (MARQUES, 2003).

Descrita desde 1914, é utilizada também para estudos científicos. Inicialmente o processo evolutivo da ADM do paciente era acompanhado visualmente. Após a realização de uma bateria de testes comparando os valores obtidos com a goniometria e a radiologia, chegou-se à conclusão de que esta técnica resultava em medições válidas. Posteriormente o goniômetro, como é chamado o instrumento utilizado, tornou-se oficialmente o melhor e mais confiável método de medição se comparado a estimativa visual (BATISTA, et al, 2006).

O goniômetro universal é composto por um transferidor e duas borras, sendo uma fixa e outra móvel, conforme mostra a Figura 4.

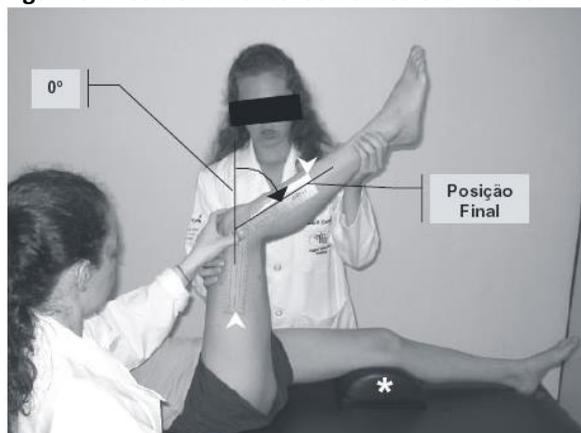
**Figura 4 - Goniômetro Universal**



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Marques (2003) para a medição da ADM, o instrumento deve estar paralelo a perna do paciente e ser posicionado com a barra fixa no fêmur, o transferidor no joelho e a barra móvel da tíbia, de acordo com a Figura 5.

**Figura 5 - Posicionamento Goniômetro Universal**



Fonte: Batista, et al, (2006).

## 2.2 Software, biblioteca e programação

Ao associar um software a uma imagem ou vídeo, nota-se que há diferença entre o processamento de imagem e a visão computacional. O processamento de imagem trata-se da

avaliação da imagem e como resultado, retorna a mesma alterada ou outra. Já a visão computacional faz análise da imagem com o objetivo de retornar uma ação ou uma associação com a visão humana. Em resumo, o processamento de imagem faz o tratamento da mesma para que ela seja melhor interpretada e facilite a visualização de seu conteúdo, enquanto a visão computacional é capaz de rastrear um objeto, identificar letras e números e até prever condições climáticas (MARENGONI; STRINGHINI, 2009).

Neste projeto utilizou-se apenas o recurso da visão computacional. Por se tratar de um *software* desenvolvido para que sua aplicação seja feita em ambientes claros e com boa iluminação, alguns detalhes como cor de roupa e luminosidade podem manipular negativamente seus resultados. Como já mencionado, a biblioteca utilizada para o desenvolvimento deste estudo foi o OpenCV.

Desenvolvida pela Intel Corporation a partir dos anos 2000, a biblioteca OpenCV, é composta por um conjunto de algoritmos que possibilitam o tratamento de imagens desde simples operações, como uma correção de brilho por exemplo, até uma reconstrução em 3D de uma parte comprometida da imagem. (BRADSKI; KAELER, 2008).

Por se tratar de uma biblioteca aberta, possui vasta documentação na Internet. O seu *download* e de sua documentação técnica podem ser feitos no site da própria organização responsável por administrar e divulgar o seu conteúdo<sup>3</sup>.

Segundo Bradski e Kaeler (2008) uma das principais vantagens de utiliza-la, é de que ela fornece infraestrutura de visão computacional robusta, tornando possível desenvolver uma aplicação simples e com funções muito sofisticadas que demandariam inúmeras linhas de programação caso não fosse utilizada. Esta biblioteca contém mais de 500 funções, dentre as áreas por ela atendida estão: inspeção de produtos na indústria fabril, imagens médicas, segurança, interface com o usuário, visão robótica, calibração de câmeras, etc.

Segundo Marengoni e Stringhini (2009) descrevem a aplicação de filtros com análise da imagem para identificação de placa veicular. A OpenCV foi desenvolvida principalmente para aplicações em tempo real. Escrita em linguagem de programação C e C++, pode ser instalada em sistemas operacionais como Windows, Linux e Mac OS X. Algumas linguagens além do C e do C++ podem ser utilizadas para criação de softwares com esta biblioteca. Dentre elas podemos citar o Python, Ruby, Matlab, entre outras.

Para o método proposto, optou-se por utilizar a programação em Python. Segundo a *Python Software Foundation*<sup>4</sup>, o Python é uma linguagem de programação de alto nível orientada a objetos. Composta por uma estrutura de dados de nível elevado e simples implementação, o Python possui comandos complexos que podem ser executados em poucas linhas de programação, tornando-o uma linguagem de programação atraente.

A utilização aplicada a visão computacional ou processamento de imagem junto com a biblioteca OpenCV tem sido amplamente utilizado para a identificação de objetos. Barros, et al, (2015) propuseram uma metodologia aplicada ao desenvolvimento futebol de robôs. Além da identificação da bola a visão computacional é utilizada também para controle dos robôs, e definição de estratégias de jogo.

## 2.3 Metodologia

A partir de agora, será explicado o procedimento que deve ser seguido para que o software desempenhe as funções de medição por visão computacional.

---

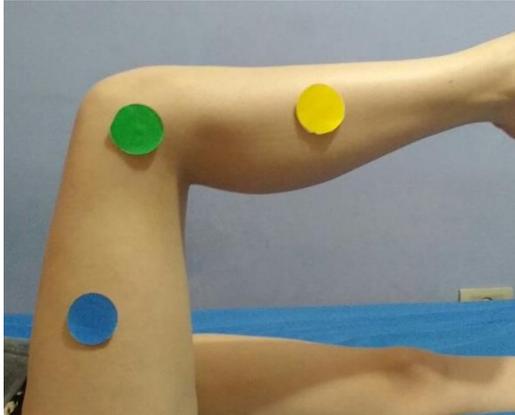
<sup>3</sup> <https://opencv.org/about.html>

<sup>4</sup> <https://www.python.org/psf/>

Para que fosse possível executar o cálculo do ângulo, era necessária alguma referência que tornasse possível a medição. Optou-se por utilizar circunferências de papel em três cores diferentes de 4,5 cm cada, que deverão ser posicionadas na perna do paciente de maneira muito similar ao método tradicional. As cores utilizadas para estes pontos de medição são: amarelo, verde e azul.

A fixação das circunferências no corpo humano requer um cuidado especial. Como no goniômetro universal em que o transferidor precisa ser posicionado no joelho (Figura 6), o *software* foi projetado para que a circunferência de cor verde esteja também posicionada no joelho. Ela será a referência para o cálculo do ângulo, caso seja posicionada no fêmur ou na tíbia, comprometerá a medição.

**Figura 6 - Posicionamento gabaritos de referência de medição**



Fonte: Elaborado pelo autor

Alguns cuidados precisam ser tomados antes da execução do programa que faz a medição. Primeiro, após calibrar-se a iluminação ambiente, a mesma precisa se manter constante para que o *software* não perca a referência de calibração. Segundo, a câmera precisa estar posicionada em paralelo com a perna do paciente. Como o programa faz o cálculo considerando a posição dos gabaritos de medição, qualquer inclinação da perna fazendo com que ela não permaneça perpendicular ao chão (perpendicular ao chão também deve estar a câmera), a medição ficará comprometida, conforme apresentado nas Figura 7 e Figura 8.

**Figura 7 - Posicionamento correto da perna em relação a câmera**



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante a validação do *software* observou-se que posição mais fiel para medição é com a perna paralela a câmera (Figura 7). Caso contrário há uma pequena variação da medição considerando que o ponto de análise não está localizado totalmente com visão frontal do ponto de vista da câmera (Figura 8).

Figura 8 - Posicionamento incorreto da perna em relação a câmera



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante a execução do programa, não poderá estar ao alcance da câmera qualquer objeto ou roupa com cores semelhantes as utilizadas pelos gabaritos. Para garantir que a medição seja feita corretamente o *software* exibe quais são os pontos que estão sendo utilizados como base para cálculo e os seleciona com uma circunferência de cor semelhante à dos gabaritos para indicar qual foi a cor por ele detectada.

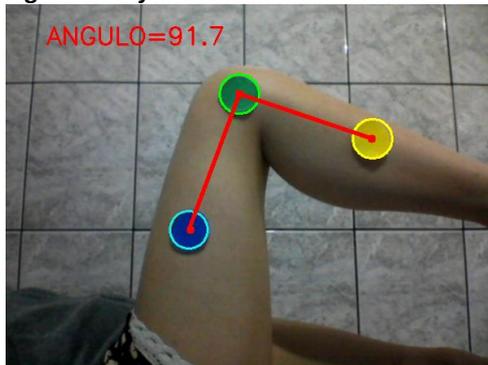
### 3 SOFTWARE

No início do programa são determinadas as faixas de cores dentro dos tons de verde, amarelo e azul para que através da visão computacional, o sistema possa localizar os gabaritos de medição. Existem dois métodos principais utilizados para a detecção de objetos em função da cor, o *Hue Saturation Value* (HSV) e o *Red Green Blue* (RGB). Foi escolhido o método HSV pois, considera a tonalidade propriamente dita da cor, a saturação que determina o quanto está cor é pura e a luminância que é composta pelo de brilho da cor submetida a uma determinada quantidade de luz. Apesar do tempo de processamento e descontinuidade no canal de cor, este método é mais confiável e resistente a interferências externas se comparado ao RGB (ARAÚJO; MENDONÇA; FREIRE, 2008).

Segundo Souto (2000), a partir dos valores de H, S e V, é possível determinar uma formação espacial similar ao RGB. Com a diferença de que a intensidade de luz aplicada define claramente os extremos do objeto, no nosso caso, dos gabaritos.

Para tornar mais fácil o entendimento sobre o funcionamento do programa, a Figura 9 apresenta o resultado final da aplicação em tempo real. É dessa maneira que este projeto propõe a facilidade de aquisição de dados ao ser empregado durante a reabilitação. Para o processo de validação, será comparado o ângulo calculado pelo método proposto com os valores obtidos com o goniômetro universal.

Figura 9 - Software em funcionamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de definido os intervalos das cores que o sistema deve considerar para encontrar os três gabaritos, é feita a configuração da câmera que será responsável por fazer a captação da imagem durante a aplicação da goniometria. Com a câmera definida, o software faz a captura dos frames (quadros de imagens) em tempo real sendo definido a faixa de cores que pode ser considerada para cada um dos gabaritos no formato RGB. A biblioteca é capaz de converter de RGB para HSV e criar uma máscara correspondente a cada uma das cores de acordo com as equações a seguir. Esta máscara serve para fazer a identificação dos gabaritos dentro da imagem definindo os valores de H (Tonalidade), S (Saturação) e V (Valor). Sendo “Máx” e “Mín” o valor maior e menor dentre o R, G e o B.

$$H = 60 * \frac{G-B}{Máx-Mín} + 0, \text{ se } (Máx = R) \text{ e } (G \geq B) \quad (1)$$

$$H = 60 * \frac{Máx-Mín}{G-B} + 360, \text{ se } (Máx = R) \text{ e } (G < B)$$

$$H = 60 * \frac{B-R}{Máx-Mín} + 120, \text{ se } (Máx = G)$$

$$H = 60 * \frac{R-G}{Máx-Mín} + 240, \text{ se } (Máx = B)$$

$$S = \frac{Máx-Mín}{Máx} \quad (2)$$

$$V = Máx \quad (3)$$

Conforme apresentado na Equação (1), o valor de H é calculado de forma diferente dependendo nos níveis de R, G e B. Já para o cálculo de S e V, Equação (2) e Equação (3) respectivamente, os valores de R, G e B são considerados apenas o máximo (maior) e o mínimo (menor), independente de qual for os que atendam a estes parâmetros.

Depois de definidas as máscaras, o software encontra cada uma das três cores e faz um desenho circular no limite de cada uma das cores que foram encontradas. Este recurso é interessante pois torna possível que o fisioterapeuta possa enxergar se o programa está executando o cálculo com base nas circunferências coloridas colocadas na perna do paciente ou não.

Quando encontrada a referência para medição, o software faz a localização do centro dos gabaritos. Dadas as coordenadas (X, Y) do centro de cada uma das circunferências, o sistema traça dois vértices que considera a cor verde como origem.

Então é feito o cálculo do ângulo considerando o tamanho conforme fórmula que calcula o produto escalar entre dois vetores. A Equação (4) descreve a relação trigonométrica entre os vértices para cálculo do cosseno do ângulo decorrente do movimento.

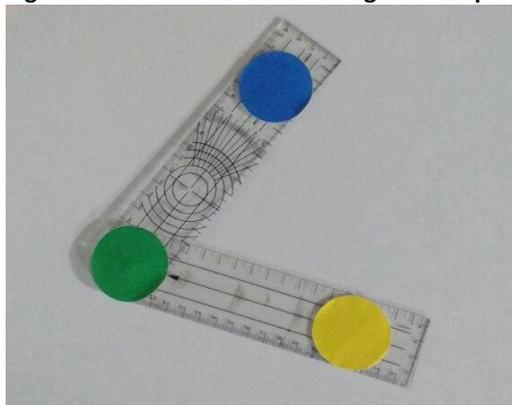
$$\cos(\emptyset) = \frac{Vertice1 * Vertice2}{|Vertice1| * |Vertice2|} \quad (4)$$

Enfim é utilizada a função de cálculo do arco-cosseno para o cálculo do ângulo e em seguida é feita a exibição do resultado no canto superior direito da tela.

## 5 VALIDAÇÃO

A validação foi feita para garantirmos que o mesmo valor de ângulo apresentado pelo software no computador é mostrado no goniômetro universal. Para a execução deste teste, colocou-se os mesmos gabaritos que deverão ser posicionados na perna humana sobre o goniômetro, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Posicionamento dos gabaritos para validação do software



Fonte: Elaborado pelo autor

Iniciou-se o programa e comparou-se um total de 5 medidas. Os resultados estão relacionados na Tabela 1.

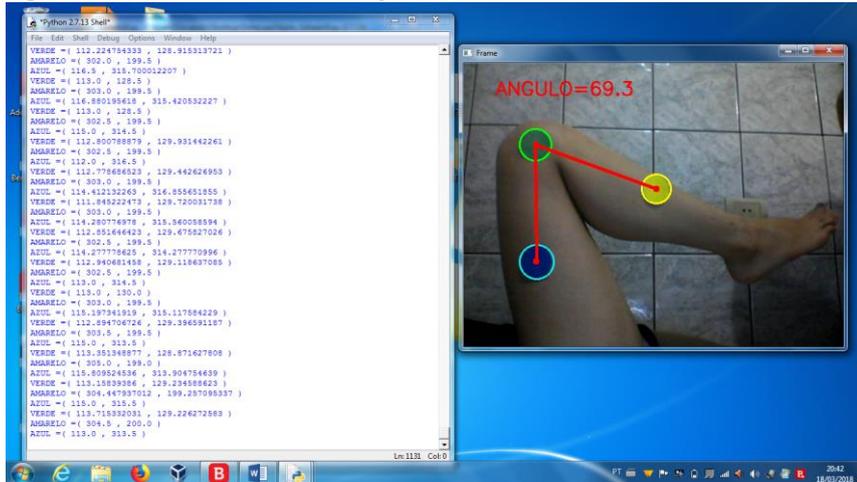
Tabela 1 – Comparação entre os valores apresentados pelo software e o goniômetro universal

Goniômetro Universal (°)	Software de visão computacional (°)	Erro (%)
30	31,8	0,060
60	60,3	0,005
90	89,7	-0,003
120	121,6	0,013
150	148,5	-0,010

Fonte: Elaborado pelo autor

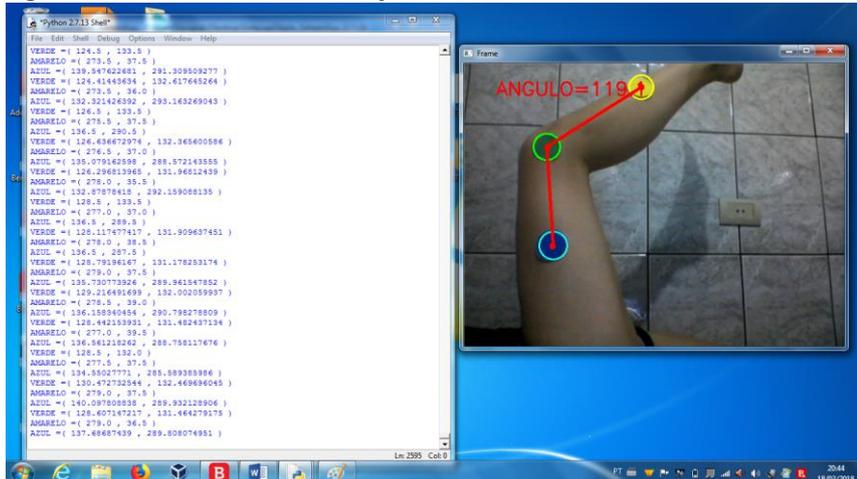
As Figuras 11, 12, e 13 representam o resultado final do trabalho. Os ângulos exibidos são respectivamente 69,3°, 119° e 178,5°.

Figura 11 – Resultado final ilustração 69,3º



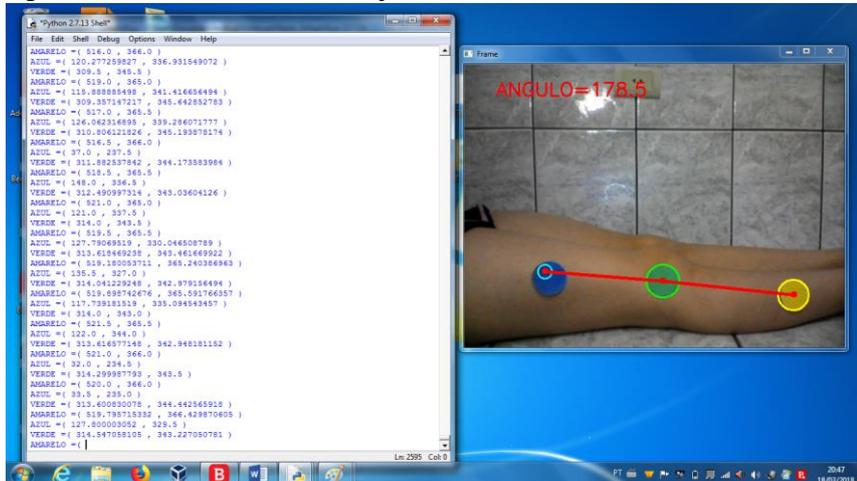
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12 – Resultado final ilustração 119º



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Resultado final ilustração 178,5º



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de visão computacional descrito aqui, foi projetado para facilitar e auxiliar o profissional da saúde responsável por utilizá-lo de forma satisfatória. Além da confiabilidade do ângulo mensurado através do computador, com o erro menor do que 0,1%. O fato de não existir um equipamento que precise ser fixado a perna do paciente, resulta em uma medição pura sem que haja interferências do próprio mecanismo.

Deixar as mãos do fisioterapeuta livre para que ele possa auxiliar o movimento também pode ser considerado como um ponto positivo.

Vale ressaltar que o método proposto pode ser empregado em outras articulações como tornozelo, cotovelo e ombro. Sendo uma ferramenta bastante promissora na reabilitação das mais variadas lesões.

Para próximos trabalhos é aconselhável que seja criado um histórico de cada paciente dentro do próprio software empregando Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) e relatórios. Histórico esse que poderá ser utilizado não só para acompanhamento do próprio paciente, mas também para serem levantadas questões estatísticas sobre as características das pessoas que passam por este tipo de procedimento. Gênero, idade e sedentarismo podem classificar e até facilitar um estudo de medidas preventivas de lesões traumáticas no joelho.

#### REFERÊNCIAS

ALVES, Renan C. A.; MARGI, Cíntia B.; SANTOS, Fabíola C. L. dos. **Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Fisioterapia: Implementação e Validação de um Sistema de Monitoramento de Amplitude de Movimento**. 2012. 19 f. Monografia (Especialização) - Curso de Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores e Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.unirio.br/index.php/isys/article/view/2183>>. Acesso em: 3 ago. 2016.

ANDRADE, Aline Mendonça de; DELANO, Anderson; FREIRE, Thiago. **Estudo do Tratamento Fisioterapêutico na Pós Reconstrução Simultânea dos Ligamentos Cruzados do Joelho: Uma revisão da literatura**. 2007. 9 p. Artigo de Revisão (Fisioterapia) - Universidade Católica do Salvador, Bahia, 2007.

ARAUJO, Gabriel M.; MENDONÇA, Meryelle M.; FREIRE, Eduardo O. **Reconhecimento Automático de Objetos Baseado em Cor e Forma para Aplicações em Robótica**. 2008. 6 p. Iniciação Científica (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

BARROS, Ricardo da Silva et al. Identificação de Objetos do Futebol de Robôs Utilizando Algoritmo de Descrição de Pontos Chave. **Colloquium Exactarum**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 101-118, 20 jun. 2015. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ce.2015.v07.n2.e119>.

BATISTA, L. H, et al, Avaliação da amplitude articular do joelho: correlação entre as medidas realizadas com o goniômetro universal e no dinamômetro isocinético. **Revista brasileira de fisioterapia**, 2006, vol. 10, no. 2 Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-5552006000200009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-5552006000200009)>. Acesso em: 13 out. 2017.

BRADSKI, Gary; KAELER, Adrain. **Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library**. 1ª. ed. Sebastopol: O' Reilly, 2008. 577 p.

COSTA, Eduardo Melego Gonçalves da. **Goniômetro**. 2007. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

KENDALL; Peterson, et al. **Músculos, provas e funções: com postura e dor**. Editora Manole, 1995.

MARENGONI, Maurício; STRINGHINI, Denise. Tutorial: Introdução à Visão Computacional usando OpenCV. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 127-160, 2009.

MARQUES, Amélia Pasqual. **Manual de goniometria**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2003. ISBN 85-204-1627-6.

RAMOS, Anátalia Saraiva Martins; OLIVEIRA, Idelmárcia Dantas de; SALES, Chiara Ângela de Carvalho. Difusão da linguagem Python no desenvolvimento de sistemas web: pesquisa exploratória em empresas brasileiras. In: **XIII SIMPEP**, Bauru, SP, Brasil, p. 2-3, nov. 2006. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/1053.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1053.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2017.

ROCHA, I. D., Moraes, T. M. S, Rezende, M. U., PÉCORÁ J. R. Avaliação da evolução de lesões associadas à lesão do ligamento cruzado anterior. **Acta Ortopédica Brasileira**. 2007; 15(2):105-108. Disponível em: <<http://www.scielo.br/aob>>. Acesso em: 01 out. 2017.

SOCIEDADE AMERICANA DE ORTOPEDIA PARA A MEDICINA ESPORTIVA. **Lesões do ligamento cruzado anterior (LCA)**. 2015. Disponível em: <<https://orthoinfo.aaos.org/pt/diseases--conditions/lesoes-do-ligamento-cruzado-anterior-lca-acl-injuries/>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

SOUTO, Roberto Pinto. **Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz**. São José dos Campos: INPE, 2000. Disponível em: <[www.obt.inpe.br/pgsere/Souto-R-P-2000/publicacao.pdf](http://www.obt.inpe.br/pgsere/Souto-R-P-2000/publicacao.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2017.

VERSOLATO, Mariana Versolato. **Estudo desfaz associação entre exercício e lesão do joelho: Pesquisa conclui que exercícios e esportes não causam artrose e até protegem a articulação**. 2011. Disponível em: <<http://biblioufcspa.blogspot.com.br/2011/03/estudo-desfaz-associacoes-entre.html>>. Acesso em: 02 out. 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a minha família que em todos os momentos me deram forças (psicologicamente e financeiramente) durante os difíceis dias de ida para a Pós-graduação. Ao meu orientador, Professor Daniel Bruno, por apoiar a ideia e incentivar a mim e a outros alunos a desenvolvermos aplicações direcionadas a medicina. E por fim pela minha namorada Bianca por toda a paciência e auxílio durante o registro de algumas das mais importantes fotos apresentadas neste trabalho.

**Sobre os autores:**

---

**<sup>i</sup> FERNANDO PEREIRA MENDES LARANJEIRO**

Tecnólogo em automação Industrial pelo Instituto Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – Campus Guarulhos (2014). Técnico em Mecânica pelo Centro Educacional de Educação Tecnológica Paula Souza (2010). Cursando a Pós-graduação em Redes Industriais de Comunicação e Controle. Atualmente é projetista de automação na empresa VL Indústria Elétrica e de Automação. Tem experiência com especificação de materiais e desenvolvimento de projetos de sistemas de automação predial. Dedicado ao estudo e aplicações de soluções tecnológicas na área da saúde em que a automação e processamento de imagens seja aplicável.

**<sup>ii</sup> DANIEL OTÁVIO TAMBASCO BRUNO**

Doutorando e Mestre em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC (2013). Especialista em Análise, desenvolvimento de Sistemas e Banco de Dados pela Universidade de Ribeirão Preto (2007), Especialista em Educação a Distância pela Universidade Paulista (2012). Bacharel em Análise de Sistemas pela Universidade Paulista (2003). Atualmente é Técnico em Manufatura Digital e Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Industrial. Tem experiência na área Gestão de Tecnologia da Informação, desenvolvimento de Sistemas de Informação, Redes de Computadores e Ciência da Computação com ênfase em Processamento de Imagens e Inteligência Artificial.