

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FGA - FACULDADE UNB GAMA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
BIOMÉDICA

***OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM  
SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E  
SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA**

**Roberto Aguiar Lima**

**ORIENTADOR(A): Dra. Lourdes Mattos Brasil**  
**COORIENTADORA(A): Dra. VERA REGINA DA SILVA MARÃES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**PUBLICAÇÃO: NUMERAÇÃO / 2015**

**BRASÍLIA/DF : Setembro– 2015**

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FGA - FACULDADE UNB GAMA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
BIOMÉDICA

***OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM  
SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E  
SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA**

Roberto Aguiar Lima

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA DA FACULDADE GAMA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.

APROVADO POR:

---

Prof. Dra. Lourdes Mattos Brasil  
(Orientador(a))

---

Prof. Dra. VERA REGINA DA SILVA MARÃES  
(Co-Orientador(a))

---

Prof. Dr(a).  
(Examidador Externo)

BRASÍLIA/DF , 01 DE Setembro 2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

Roberto Aguiar Lima

*OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA, [Distrito Federal] 2015. NUMERAÇÃO . 25 p., 210 x 297 mm (FGA/UnB Gama, Mestre, Engenharia Biomédica, 2015). Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade Gama. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Biomédica.

1. análise de marcha. 2. aprendizado de máquina

3. joelho. 4. simulação

I. FGA UnB Gama/ UnB. II. *OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA

CDU: N° da CDU (biblioteca)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, R. A. (ANO). TÍTULO. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica, Publicação NO./ANO, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 25 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Roberto Aguiar Lima

TÍTULO: *OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

2015.

ENDEREÇO.

CEP: ..., Brasília, DF – Brasil

## DEDICATÓRIA

*Para ..., com amor.*

## AGRADECIMENTOS

...

O Mestre na arte da vida faz pouca distinção entre o seu trabalho e o seu lazer, entre sua mente e seu corpo, entre sua educação e sua recreação. Ele simplesmente persegue sua visão de excelência em tudo o que faz, deixando para os outros a decisão de saber se está trabalhando ou se divertindo. Ele acha que está sempre fazendo as duas coisas simultaneamente.

Texto Budista

## RESUMO

### ***OPEN GAIT ANALYTICS* - IMPLEMENTANDO UM SOFTWARE COMO SERVIÇO PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE MARCHA HUMANA**

**Autor:** Roberto Aguiar Lima

**Orientador(a):** Prof(a). Dra. Lourdes Mattos Brasil

**Coorientador(a):** Dra. VERA REGINA DA SILVA MARÃES

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica – Qualificação de Mestrado  
BRASÍLIA/DF 2015**

Texto corrido sem parágrafo. 1 página.

**Palavras-chaves:** análise de marchar, aprendizado de máquina, joelho, simulação.

## ABSTRACT

### OPEN GAIT ANALYTICS - IMPLEMENTING A SOFTWARE AS A SERVICE FOR HUMAN GAIT ANALYSIS AND SIMULATION

**Author:** Roberto Aguiar Lima

**Supervisor:** Prof(a). Dra. Lourdes Mattos Brasil

**Co-supervisor:** Dra. VERA REGINA DA SILVA MARÃES

**Post-Graduation Program in Biomedical Engineering – Qualify of Master Degree Brasília,  
Month of Year.**

Texto corrido sem parágrafo. 1 página.

**Key-words:** gait analysis, machine learning, knee, simulation.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivo Específicos	13
<b>1.3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>13</b>
<b>1.4</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>ANÁLISE DE MARCHA</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>MÉTODOS ÁGEIS</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>SOFTWARE COMO SERVIÇO</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>SOFTWARE LIVRE</b>	<b>16</b>
<b>2.5</b>	<b>APRENDIZADO DE MÁQUINA</b>	<b>16</b>
<b>2.6</b>	<b>CMAC</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>AMBIENTE DE ESTUDO</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>DELIMITAÇÃO DO ESTUDO</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>VISÃO</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>MODELO DE GESTÃO</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>MODELO DE ARQUITETURA</b>	<b>19</b>
3.5.1	CAMADA DE APLICAÇÃO WEB	20
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO E CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>24</b>

## LISTA DE TABELAS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede LIS . . . . .	17
Figura 2 – Processo de desenvolvimento . . . . .	19
Figura 3 – Camadas arquiteturais . . . . .	19

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Program Interface</i>
CSS	<i>Cascade Style Sheet</i>
FCE	Faculdade Ceilândia
FGA	Faculdade Gama
HTML5	<i>HiperText Markup Language</i>
GNU	GNU is Not Unix
GUGT	<i>Get Up and Go Test</i>
LIS	Laboratório de Informática em Saúde
LPH	Laboratório de Performance Humana
MVC	<i>Model View Controller</i>
UnB	Universidade de Brasília
VM	<i>Virtual Machine</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos Latinos

$F_1, F_2$	Força ( $N$ )
------------	---------------

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa iniciar um projeto de desenvolvimento de software como serviço, para análise e simulação de marcha humana.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Definir um processo de desenvolvimento ágil adequado ao projeto;
- Explicitar uma visão arquitetural inicial do software;
- Escolher componentes de software a serem usados na solução;
- Criar um *backlog* inicial de histórias de usuários;
- Selecionar um conjunto mínimo de histórias de usuários, suficientes para uma *release* funcional do software;
- Implementar e testar estas histórias de usuários.

## 1.3 REVISÃO DA LITERATURA

Foram usados os seguintes serviços web para o levantamento bibliográfico deste trabalho:

- IEEE Xplore Digital Library (<http://ieeexplore.ieee.org>);
- PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>);
- Portal de Periódicos CAPES/MEC (<http://periodicos.capes.gov.br>).

Foram utilizadas as seguintes chaves de pesquisa em cada um dos serviços acima: “*Gait Analysis Software*”.

Os artigos considerados mais relevantes para o trabalho foram escolhidos, levando-se em consideração, entre outras coisas, a descrição de características interessantes a serem implementadas no software a ser desenvolvido.

Quando o assunto se trata de análise de marcha, a obra mais aclamada, inclusive citada em muitas das referências abaixo, é (PERRY; BURNFIELD, 2010). Como sugerido por (MALAS, 2010), esta é uma obra obrigatória a qualquer um que deseje estudar análise de marcha.

Em (VIEIRA et al., 2015) um sistema de análise e classificação de marcha é proposto, como alternativa a soluções de mercado mais caras. A proposta inicial é coletar dados a partir de marcadores posicionados no corpo do paciente, através de câmeras de vídeo, classificando padrões de marcha com aprendizado de máquina.

Em (DUHAMEL et al., 2004) é apresentada uma ferramenta para melhorar a confiabilidade de curvas para um paciente, classificar pacientes em determinadas populações e comparar populações. Trata-se de uma ferramenta estatística para análise de marcha.

Deteções de eventos do ciclo de marcha, são características interessantes para um software de análise de marcha. Em (GHOUSSAYNI et al., 2004) são documentados métodos para detecção de 4 eventos: contato do calcanhar, elevação do calcanhar, contato do dedão do pé e elevação do dedão do pé.

Uma comparação entre dois pacotes distintos para análise de marcha foi realizada em (MORAES; SILVA; BATTISTELA, 2003). Neste trabalho dados captados por câmeras e plataformas de força são coletados e passados aos pacotes de software Kin Trak e Ortho Trak.

Uma amostra de como um software pode ser utilizado para gerar bases de dados de análise de marcha, é visto em (MORENO et al., 2009). Neste artigo os autores capturam dados de crianças saudáveis, a fim de obterem padrões para serem utilizados em sistemas de análise de movimentos.

Um sistema de aquisição e análise de marcha, foi desenvolvido e demonstrado em (FERREIRA; CRISOSTOMO; COIMBRA, 2009). Neste trabalho, o hardware para captura de dados, e o software para análise dos dados, foram desenvolvidos num único projeto. Com os resultados gerados pelas análises feitas por este projeto, foi possível construir um robô bípede, que apresentou resultados satisfatórios caminhando num ciclo de marcha confortável.

A partir da análise de marcha, é possível criar métodos para se estabelecer o grau de desvio do ciclo de marcha, que um paciente pode apresentar. Em (BEYNON et al., 2010) é apresentado o método *Gait Profile Score*. O método em si é um bom candidato a funcionalidade em um software de análise de marcha, pois serviria de auxílio clínico ao profissional da área de saúde. Uma outra funcionalidade inspirada no campo clínico é mostrado em (CIPPITELLI et al., 2015). Neste trabalho os autores propõem a automatização do método *Get Up and Go Test* (GUGT), que é usualmente utilizado em análise de marcha no campo da reabilitação.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

2.1 ANÁLISE DE MARCHA

2.2 MÉTODOS ÁGEIS

2.3 SOFTWARE COMO SERVIÇO

2.4 SOFTWARE LIVRE

2.5 APRENDIZADO DE MÁQUINA

2.6 CMAC

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 AMBIENTE DE ESTUDO

Como este trata de um projeto de desenvolvimento de software na área de análise de marcha, dois ambientes de trabalho distintos foram amplamente utilizados. São estes:

1. Laboratório de Informática em Saúde (LIS) na Faculdade Gama (FGA) da Universidade de Brasília (UnB);
2. Laboratório de Performance Humana (LPH) na Faculdade Ceilândia (FCE) da UnB.

No LIS foram desempenhadas as tarefas relativas a engenharia de software e disponibilização do software. Foram utilizadas estações de trabalho do tipo *Power Mac* com sistema operacional *MAC OS X 10.10.3*, sendo que uma foi preparada para funcionar como servidor de aplicação e roteador de rede. A estação preparada, serve de hospedeira de duas máquinas virtuais (*Virtual Machines* - VMs) rodando através do software *Virtualbox 4.3*. Cada VM utiliza sistema operacional *Debian Wheezy GNU/Linux*. Uma destas VMs foi configurada como roteador e *firewall* e a outra como servidor de aplicações. Outra estação de trabalho *Power Mac*, idêntica, e um notebook rodando *Ubuntu 14.04 GNU/Linux* foram utilizados como máquinas de desenvolvimento e simulação. Um diagrama da rede criada no LIS é mostrado na figura 1.

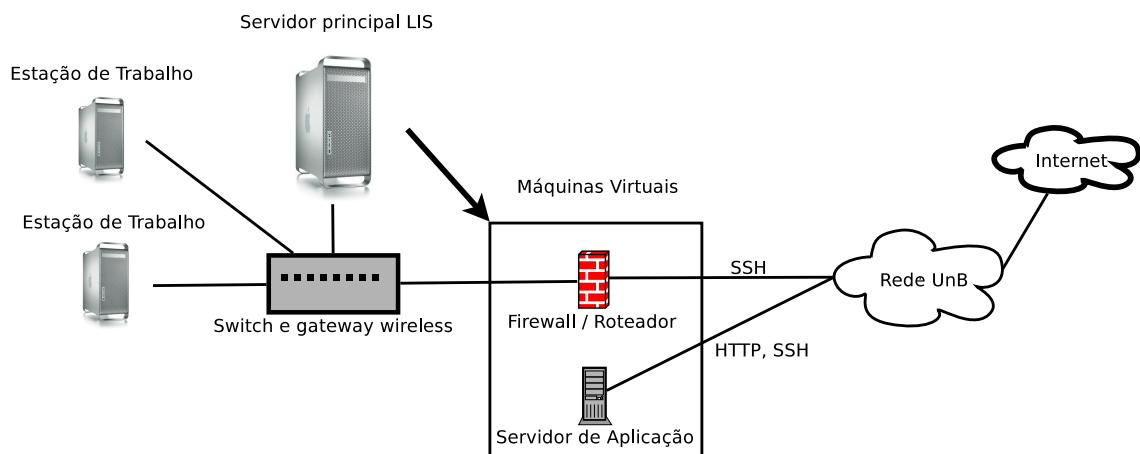


Figura 1 – Rede LIS

O LPH foi utilizado para captura de dados de marcha humana. Este laboratório está equipado para coletar dados de plataformas de força, eletromiógrafos e de marcadores posicionados no corpo do paciente através de câmeras de vídeo (*Motion Capture* - MOCAP). Para este trabalho foi utilizado o software *QTM 3.2* da *Qualisys*.

## 3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho tem como foco estabelecer uma metodologia de desenvolvimento inicial a um sistema de análise e simulação de marcha. Ele não busca ser extensivo o suficiente para criar um produto pronto para o mercado, mas pretende, através da implementação de funcionalidades reais, estabelecer uma arquitetura mínima e funcional que sirva de base para a construção do sistema. Como consequência, o projeto também integra os principais componentes desta arquitetura, por exemplo, o serviço de banco de documentos, com a *Application Program Interface* (API) web. Um software como este, robusto o suficiente para ser viável no mercado, seria muito caro. Por exemplo um desenvolvedor sênior no mercado de Brasília, não custaria menos de R\$ 100.000,00 por ano.

## 3.3 VISÃO

Apesar deste trabalho ter um objetivo específico e delimitado, dele nasce um projeto maior, cuja visão é o desenvolvimento de um software como serviço para análise e simulação de marcha, utilizando o estado da arte em técnicas para este fim. O software deverá ser construído utilizando-se métodos ágeis, e terá uma arquitetura adaptável que permita evolução contínua.

A estratégia é lançar a versão inicial do software como projeto de código livre, conseguir parceiros e procurar um modelo de negócio sustentável para mantê-lo.

## 3.4 MODELO DE GESTÃO

O software terá um modelo de gestão baseado no método *SCRUM*, como definido por (SHWABER; BEEDLE, 2002). O método não é adotado na plenitude, sendo adaptado segundo as limitações de recursos do projeto.

Nesta fase inicial, o processo conta com um desenvolvedor, que também assume o papel de *scrum master*, e um *product owner*. Devido ao tamanho reduzido da equipe e da localização distinta dos membros, não há *scrum* diário, mas problemas de trabalho cotidianos são resolvidos por telefone, email ou mensagens instantâneas.

O princípio de *time boxing* é mantido. Ficou definido que o *sprint* consiste do prazo de 2 semanas. Ao final do sprint uma reunião em duas fases é realizada. A primeira fase consiste na revisão do *sprint* anterior. Já a segunda fase é o planejamento do próximo sprint.

Um *backlog* de produto é mantido. Na reunião de final de *sprint* é criado um *backlog* de *sprint*. Os itens de *backlog* são mantidos na forma de histórias de usuários, conforme (COHN, 2004). Na figura 2 é apresentada a visão geral do processo.

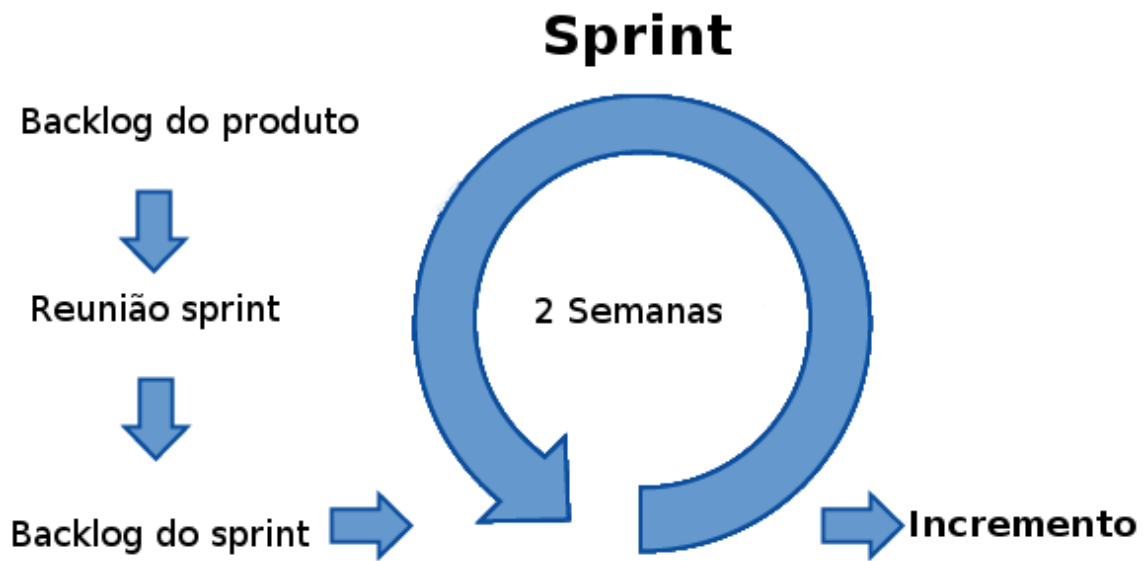


Figura 2 – Processo de desenvolvimento

### 3.5 MODELO DE ARQUITETURA

O modelo de arquitetura no seu nível mais elevado, pode ser visto como um modelo de três camadas, conforme a figura 3.

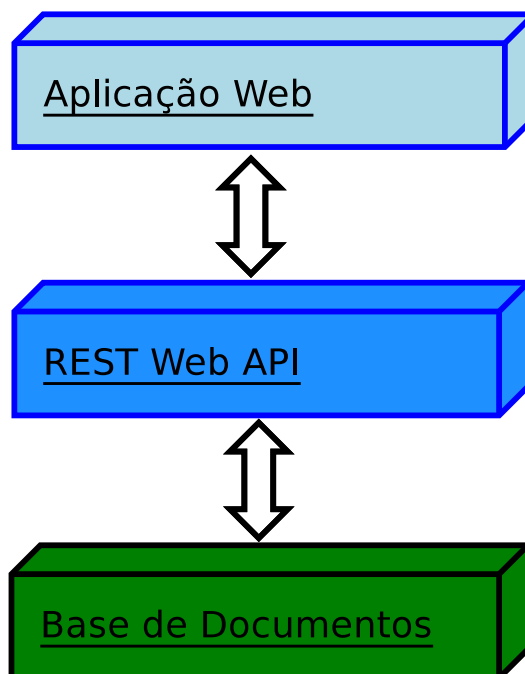


Figura 3 – Camadas arquiteturais

A camada web é responsável pela interação com o usuário. A camada *Web API* é responsável pela lógica de negócio. A camada de base de documentos é responsável pela

persistência dos dados da aplicação.

### 3.5.1 CAMADA DE APLICAÇÃO WEB

Esta camada foi projetada para rodar em *browsers* que suportam HTML 5. Ela é desenvolvida usando-se Javascript, CSS e HTML. Além disso, adotou-se o *framework* de desenvolvimento web *AngularJS*. (BRANAS, 2014) é um guia introdutório conciso no assunto. Segundo (FREEMAN, 2014), outro guia no assunto, o *AngularJS* se baseia no padrão de projeto *Model-View-Controller* (MVC), e sua ênfase é em permitir a criação de aplicações: extensíveis, manuteníveis, testáveis e padronizadas.

Como, até o momento de conclusão deste trabalho, o projeto não conta com um *web designer*, uma solução técnica para minimizar as consequências deste problema, teve de ser adotada. Os usuários finais do software, profissionais da área de saúde, dificilmente se interessariam pelo mesmo sem uma interface atraente e amigável. A solução adotada foi utilizar a biblioteca *angular-material*. Esta biblioteca, como indicado pelo seu nome, é construída com o *AngularJS*. Ela disponibiliza serviços e diretivas que podem ser usados para construir a interface gráfica da aplicação. Diretivas são componentes que podem ser inseridos diretamente no código HTML da aplicação, dando a aparência de estender a própria HTML. Por exemplo a diretiva *md-button* da biblioteca, é um tipo de botão que não é próprio do HTML. Outros exemplos de diretivas são: caixas de diálogos, barras de ferramentas, barras de progresso, grades, *tooltip*, etc. Esta biblioteca é baseada na especificação *Material Design* criada pela empresa Google. A especificação discorre sobre padrões de design gráfico e interação com usuário e é baseada no princípio da metáfora de materiais. Esta metáfora é uma teoria unificada de um espaço racionalizado e sistemas de movimento, isto segundo (GOOGLE, 2015). Outra vantagem da biblioteca é que ela é projetada para se adaptar a diferentes tipos de dispositivos com telas de tamanhos diferentes.

## 4 RESULTADOS

## 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

## 6 TRABALHOS FUTUROS



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEYNON, S. et al. Correlations of the Gait Profile Score and the Movement Analysis Profile relative to clinical judgments. *Gait and Posture*, Elsevier B.V., v. 32, n. 1, p. 129–132, 2010. ISSN 09666362. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.01.010>. 14
- BRANAS, R. *AngularJS Essentials*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2014. ISBN 978-1-78398-008-6. 20
- CIPPITELLI, E. et al. Kinect as a Tool for Gait Analysis: Validation of a Real-Time Joint Extraction Algorithm Working in Side View. *Sensors*, v. 15, n. 1, p. 1417–1434, 2015. ISSN 1424-8220. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/1/1417/>. 14
- COHN, M. *Users Stories Applied*. Crawfordsville: Addison Wesley, 2004. ISBN 978-0-321-20568-1. 18
- DUHAMEL, a. et al. Statistical tools for clinical gait analysis. *Gait and Posture*, v. 20, n. 2, p. 204–212, 2004. ISSN 09666362. 14
- FERREIRA, J. a. P.; CRISOSTOMO, M. M.; COIMBRA, a. P. Human gait acquisition and characterization. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 58, n. 9, p. 2979–2988, 2009. ISSN 00189456. 14
- FREEMAN, A. *Pro AngularJS*. [S.l.]: Apress, 2014. ISBN 9781430264484. 20
- GHOUSSAYNI, S. et al. Assessment and validation of a simple automated method for the detection of gait events and intervals. *Gait and Posture*, v. 20, n. 3, p. 266–272, 2004. ISSN 09666362. 14
- GOOGLE. *Material Design*. 2015. Disponível em: [www.google.com.br/design/spec/material-design/introduction.html](http://www.google.com.br/design/spec/material-design/introduction.html). 20
- MALAS, B. *Book Review - Gait Analysis: Normal and Pathological Function, 2nd Edition*. 2010. Disponível em: <http://www.oandp.org/reading/gaitfunction.asp>. 14
- MORAES, J.; SILVA, S.; BATTISTELA, L. Comparison of two software packages for data analysis at gait laboratories. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE Cat. No.03CH37439)*, v. 2, p. 1780–1783, 2003. ISSN 1094-687X. 14
- MORENO, a. et al. Development of the spatio-temporal gait parameters of Mexican children between 6 and 13 years old data base to be included in motion analysis softwares. *2009 Pan American Health Care Exchanges - PAHCE 2009*, n. 2, p. 90–93, 2009. 14
- PERRY, J.; BURNFIELD, J. M. *Gait Analysis Normal and Pathological Function*. 2nd. ed. [S.l.]: SLACK Inc., 2010. ISBN 978-1-55642-766-4. 14
- SHWABER, K.; BEEDLE, M. *Agile Software Development with Scrum*. [S.l.]: Pearson, 2002. ISBN 0-13-067634-9. 18

VIEIRA, A. et al. Software for human gait analysis and classification. In: *4th Portuguese BioEngineering Meeting*. Porto: [s.n.], 2015. 14