

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

**ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE E DA MARCHA DE**  
**AMPUTADOS TRANSFEMORAIS E NÃO AMPUTADOS: ESTUDO**  
**PRELIMINAR**  
**GABRIELA ATAIDES DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR(A): Dr(a). VERA REGINA FERNANDES DA SILVA**  
**MARAES**

**COORIENTADOR(a). MARÍLIA MIRANDA FORTE GOMES**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**PUBLICAÇÃO: 094A/2018**  
**BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2018**

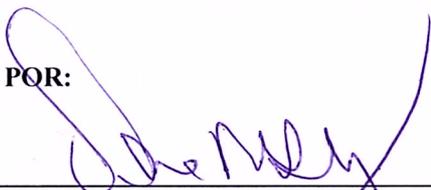
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DO GAMA  
ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**"ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE E DA MARCHA DE AMPUTADOS  
TRANSFEMORAIS E NÃO AMPUTADOS: ESTUDO PRELIMINAR"**

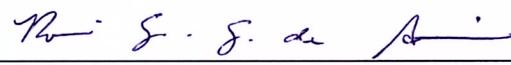
**GABRIELA ATAIDES DE OLIVEIRA**

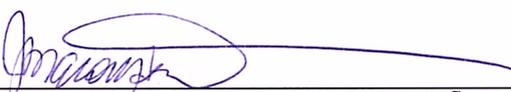
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE UNB GAMA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.**

**APROVADA POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**PROFA. DRA. VERA REGINA FERNANDES DA SILVA MARÃES; FCE / UNB  
(ORIENTADORA)**

  
\_\_\_\_\_  
**PROFA. DRA. MARÍLIA MIRANDA FORTE GOMES; FGA / UNB  
(COORIENTADORA)**

  
\_\_\_\_\_  
**PROF. DR. RONNI GERALDO GOMES DE AMORIM; FGA / UNB  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**PROFA. DRA. JULIANA DE FARIA FRACON E ROMÃO; FCE / UNB  
(EXAMINADORA EXTERNA)**

**BRASÍLIA, 06 DE AGOSTO DE 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

GABRIELA ATAIDES DE OLIVEIRA  
 ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE E DA MARCHA DE AMPUTADOS  
 TRANSFEMORAIS E NÃO AMPUTADOS: ESTUDO PRELIMINAR, Gama, 2018.  
 094A/2018., 210 x 297 mm (FGA/UnB Gama, Mestre, Engenharia Biomédica, 2018).  
 Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade Gama. Programa de Pós-  
 Graduação em Engenharia Biomédica.

1. QUALISYS TRACK MANAGER	2. AMPUTAÇÃO
3. MARCHA HUMANA	
I. FGA UnB Gama/ UnB.	

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, G. A. (2018). ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE E DA MARCHA DE AMPUTADOS TRANSFEMORAIS E NÃO AMPUTADOS: ESTUDO PRELIMINAR. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica, Publicação 094A./2018, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gabriela Ataidés de Oliveira

TÍTULO: ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE E DA MARCHA DE AMPUTADOS TRANSFEMORAIS E NÃO AMPUTADOS: ESTUDO PRELIMINAR

GRAU: Mestre

ANO: 2018

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.

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, com amor.*

*A minha busca constante foi sempre pelo conhecimento e eu sou muito grata aos meus pais Adelson Ataides de Oliveira e Valquíria Marques Ataides de Oliveira que se esforçaram e me ajudaram tanto para que eu pudesse caminhar pela estrada do saber e alcançasse os meus sonhos e desejos que Deus semeou em meu coração. Docência é uma profissão que preenche a minha vida profissional. Gratidão!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus porque foi Ele quem semeou em mim a vontade diária de ir atrás do conhecimento e transmiti-lo para tantas pessoas. Ele é a minha fortaleza e minha esperança e sei que mesmo em dias de angústia e desespero foi Ele quem me sustentou e acalmou meu coração. A Ele a glória e todo louvor sempre.

Agradeço aos meus pais Adelson Ataides de Oliveira e Valquíria Marques Ataides de Oliveira que foram minha base e meus maiores incentivadores nesse caminho do saber. Eles que não mediram esforços para me ajudar nos estudos, desde a escola até a faculdade, pós-graduação e agora no mestrado. Não teria chegado até aqui sem o amor, a compaixão, a ajuda e o companheirismo deles.

À minha orientadora Vera Regina da Silva Marães e coorientadora Marília Miranda Forte Gomes que mesmo sem me conhecer como sua aluna na graduação me deu a oportunidade de poder realizar esse sonho que é fazer mestrado. Um sonho que começou com uma ideia simples de querer ser professora e hoje essa simples ideia transformou minha vida, quem eu sou e quem eu pretendo ser. Muito obrigada por tudo!

Às minhas irmãs Juliana Ataides de Oliveira e Polyana Ataides de Oliveira e aos sobrinhos muito amados, Gabriel Ataides de Oliveira e Isaque Ataides de Oliveira Izídio que sempre estiveram na torcida e me apoiando em cada momento dos meus estudos. Minhas irmãs são os meus exemplos e as melhores amigas que eu poderia ter. Ter uma irmã é ter pra sempre o meu coração guardado em outro ser. Amo muito vocês!

Ao meu namorado, amigo e companheiro Márcio de Oliveira Sousa que tanto me ajudou, me acalmou, me apoiou, me incentivou em todo o processo do mestrado. Ele que foi, em muitas situações, a minha fortaleza para os meus momentos de incertezas durante esses dois anos e nunca deixou de acreditar em mim. Obrigada pelo companheirismo e pelo amor a mim ofertado. Amo muito você e não tenho dúvidas que o nosso encontro foi um plano lindo de Deus. Agradeço imensamente a você e a toda sua família (Maria de Fátima, Renato, Claudiane e Flávia) pelo apoio e incentivo.

Às amigas do mestrado Bruna da Silva Sousa e Rafaela Carvalho da Silva que me acompanharam nesse período de pesquisa, estudo, dedicação, horas de leitura e idas a congressos. A elas o meu muito obrigado não só pela amizade e pela oportunidade de

dividir um pouco do meu dia-a-dia, mas por toda ajuda e esforço que recebi em tantos momentos durante todo o mestrado. Sei que levarei cada uma delas comigo.

Aos amigos Gilmar Severino Lucena de Souza, Ithallo Júnior Alves Guimarães, Roberto Aguiar Lima e Jorge Luiz que me ajudaram nessa aventura de entender os dados e análises que são utilizadas por eles na Engenharia. Dados que pra mim eram tão complexos e, ainda são, porém se tornaram mais tranquilos depois da ajuda de cada um deles.

E a todos aqueles que de uma forma ou de outra estiveram presente nessa minha caminhada e que puderam compartilhar comigo sobre o processo de pesquisa e aprendizagem. A todos vocês o meu muito obrigado, o sentimento de gratidão é enorme.

## RESUMO

**Análise da funcionalidade e da marcha de amputados transfemorais e não amputados: estudo preliminar**

**Autor: Gabriela Ataiades de Oliveira**

**Orientador: Prof. Dr. Vera Regina Fernandes da Silva Marães**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica**

**Brasília, 06 de agosto de 2018.**

A amputação é definida como a perda de parte do membro de um indivíduo. Sua alta incidência faz com que as pesquisas e busca pela melhora dos dispositivos que o auxiliem durante a realização das atividades de vida diária possam ser cada dia mais aprimorados. Portanto, o objetivo da pesquisa é determinar a melhor colocação dos marcadores reflexivos na pele do indivíduo a fim de comparar e analisar a marcha de um indivíduo amputado utilizando sua prótese e um indivíduo não amputado e assim dar indícios de melhoras para a fabricação de futuras próteses. Foi inicialmente testado um protocolo de análise de marcha com o auxílio do Qualisys Track Manager (QTM) juntamente com o suporte de vários outros softwares que auxiliaram na análise dos dados (Anaconda, Jupyter, Open Gait Analytics). Os locais de colocação dos marcadores determinados após as devidas análises dos estudos desses autores foram no quadril, coxa, joelho, perna e tornozelo. O protocolo foi testado pelos pesquisadores e dessa forma foi dado prosseguimento nas coletas de análise de marcha. Os resultados encontrados evidenciaram que os ângulos durante a marcha dos amputados se diferenciam muito do considerado normal e que essas alterações deveriam ser levadas em conta pelos fabricantes de próteses. O intuito é minimizar os efeitos que uma deambulação inadequada causa no indivíduo amputado e, assim, proporcioná-lo uma marcha o mais próximo possível da marcha fisiológica. Conclui-se que a marcha humana dos amputados é muito prejudicada pela adaptação ruim que a prótese tem no membro e no coto desses indivíduos e, que, possivelmente um trabalho ruim pós protetização possa ser o motivo de não haver sido sanado as debilidades encontradas na marcha após a colocação da prótese.

**Palavras-chaves:** Qualisys Track Manager; Marcha humana, Amputação.

**ABSTRACT****Analysis of the functionality and marking of transfemorative and non-amputated amputees: preliminary study****Author: Gabriela Ataide de Oliveira****Supervisor: Dr(a). Vera Regina Fernandes da Silva Marães****Post-Graduation Program in Biomedical Engineering – Qualify of Master Degree****Brasília, 06 of august of 2018.**

Amputation is defined as the loss of part of an individual's limb. Its high incidence makes that the researches and search for the improvement of the devices that help it during the accomplishment of the activities of daily life can be each day more improved. Therefore, the objective of the research is to determine the best placement of reflexive markers on the skin of the individual in order to compare and analyze the gait of an amputated individual using his or her prosthesis and an individual not amputated and thus provide evidence of improvements for the manufacture of future prostheses . A gait analysis protocol was initially tested with the help of the Qualisys Track Manager (QTM) along with the support of several other software that aided in analyzing the data (Anaconda, Jupyter, Open Gait Analytics). The sites of placement of the markers determined after due analysis of the studies of these authors were in the hip, thigh, knee, leg and ankle. The protocol was tested by the researchers and in this way was continued in the analyzes of gait analysis. The results showed that the angles during the walk of the amputees are very different from the normal ones and that these changes should be taken into account by the manufacturers of prostheses. The aim is to minimize the effects that an improper ambulation causes in the amputated individual and, thus, to provide a gait as close as possible to the physiological gait. It is concluded that the human gait of the amputees is greatly impaired by the poor adaptation that the prosthesis has on the limb and limb of these individuals and that, possibly, poor post-prosthesis work may be the reason for not having solved the gait weaknesses after placement of the prosthesis.

**Keywords:** Qualisys Track Manager; Human march, Amputation.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Contextualização e Formulação do Problema.....	14
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivo geral.....	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
1.3	Revisão da Literatura .....	17
1.4	Organização do Trabalho .....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	20
2.1	Amputação.....	20
2.1.1	Amputação e sua prevalência na população.....	20
2.1.2	Níveis de amputação e coto.....	21
2.1.3	Prótese do Sistema Único de Saúde (SUS).....	23
2.2	Recuperação Funcional .....	24
2.3	A marcha Humana .....	25
2.3.1	Análise da marcha.....	29
2.3.2	Equipamentos de análise da marcha.....	32
2.3.3	Detalhamento da cinética e cinemática da marcha.....	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Amostra.....	36
3.2	Coleta.....	37
3.2.1	Análise dos dados.....	43
4	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	44
5	RESULTADOS.....	45
5.1	Visão Geral.....	45
6	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO .....	56
7	TRABALHOS FUTUROS.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
	ANEXOS.....	65
	ANEXO A: PARECER DE APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA .....	66
	ANEXO B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....	67
	ANEXO C:FICHA DE AVALIAÇÃO .....	68
	ANEXO D: QUESTIONÁRIO DE MEDIDA FUNCIONAL PARA AMPUTADOS.....	69

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01: Nomes e valores das próteses ofertadas pela rede pública do DF (2018) .....	24
Tabela 02: Caracterização da amostra.....	45
Tabela 03: Exemplo de frames identificados no indivíduo da pesquisa (passadas) .....	45
Tabela 04: Análise dos vídeos .....	46
Tabela 05: Angulação da marcha. Indivíduo não-amputado.....	47
Tabela 06: Angulação da marcha. Indivíduo amputado.....	49
Tabela 07: Questões do FMA relacionadas à mobilidade .....	52

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 01:</b> Amputações de membro inferior.....	14
<b>Figura 02:</b> Divisões do ciclo da marcha.....	26
<b>Figura 03:</b> Fases da marcha e seus ciclos.....	28
<b>Figura 04:</b> Gráfico da angulação do joelho.....	31
<b>Figura 05:</b> Gráfico da angulação do tornozelo.....	32
<b>Figura 06:</b> Laboratório de análise de movimento e processamento de sianis – FCE/UNB.....	38
<b>Figura 07:</b> Marcadores vista anterior.....	39
<b>Figura 08:</b> Marcadores vista posterior.....	40
<b>Figura 09:</b> Marcadores vista lateral.....	40
<b>Figura 10:</b> Câmera Oqus Capture Anywhere – <i>Qualisys Track Manager</i> .....	41
<b>Figura 11:</b> Joelho direito. Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.....	47
<b>Figura 12:</b> Joelho esquerdo. Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.....	48
<b>Figura 13:</b> Tornozelo direito. Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.....	48
<b>Figura 14:</b> Tornozelo esquerdo. Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.....	49
<b>Figura 15:</b> Joelho direito. Indivíduo amputado.....	50
<b>Figura 16:</b> Joelho esquerdo. Indivíduo amputado.....	50
<b>Figura 17:</b> Tornozelo direito. Indivíduo amputado.....	51
<b>Figura 18:</b> Tornozelo esquerdo. Indivíduo amputado.....	51

**LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES**

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

6DOF – Seis graus de liberdade

ADM – Amplitude de movimento

Bireme – Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde

BVS – Biblioteca Virtual em Saúde

C3D – *Coordinate 3D file format*

Capex – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior

CETEFÉ: DF – Centro de Treinamento de Educação Física Especial de Brasília

CG – Centro de gravidade

CI – Contato inicial

CINHAL – *Cummulative Index to Nursing and Allied Health Literature*

DeCS – Descritores em ciências da saúde

DF – Distrito Federal

DP – Despreendimento do pé

DPO – Deslocamento de pé oposto

EIAS – Espinha ilíaca ântero superior

EIPS – Espinha ilíaca pósterio-superior

EMG – Eletromiografia

FMA – *Funcional Measure for Amputees Questionnaire*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Lilacs – Literatura Latino-americana e do Caribe em ciências da saúde

MatLab – *Matrix Laboratory*

Medline – *Medical Literature Analysis and Retrievel System Online*

MeSH – *Medical Subject Headings*

NCBI – *National Center for Biotechnology*

NLM – Biblioteca Nacional de Medicina

OPAS – Organização Pan-americana de Saúde

PB – Pré-balanço

PubMed – *National Library of Medicine National Institutes of Health*

QTM – *Qualisys Track Manager*

RC – Resposta à carga

SciELO – *Scientific Eletronic Library Online*

Scopus – Base de dados

SUS – Sistema Único de Saúde

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TP – Toque de pé

TPO – Toque de pé oposto

TSV – Tab – *Separated Values*

UnB – Universidade de Brasília

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

As amputações de membros são práticas realizadas há muito tempo sendo as cirurgias mais antigas realizadas na história da medicina (CARVALHO, 2003). A palavra amputação deriva do latim e possui o seguinte significado: *ambi*= ao redor de/em volta de e *putatio*= podar/retirar. Pode-se definir amputação como sendo a retirada total ou parcial de um membro por meio de procedimento cirúrgico (BARBOSA, 2004; CARVALHO, 2003).

O primeiro resquício de prótese encontrado foi em uma múmia onde o dedo hálux de madeira foi entalhado para dar lugar a um que havia sido amputado. Tempos depois o interesse pelos membros artificiais foi aumentando e, durante a Guerra Civil Americana, a pesquisa pelas próteses e interesses correlatos tomou uma grande proporção devido ao fato de várias pessoas necessitarem de auxílios protéticos após sofrerem perdas de membros no pós-guerra (DELLON, 2007 apud ALVES, 2013).

Considera-se mais comum as amputações que ocorrem nos membros inferiores sendo elas representadas por 85% das amputações que acontecem no corpo humano. Mais da metade da população que realiza uma amputação possui um quadro de diabetes sendo que a incidência maior (70 a 80%) é de amputações que acontecem acima e abaixo do joelho, as transfemorais e as transtibiais, respectivamente (CARVALHO *et. al.*, 2005).

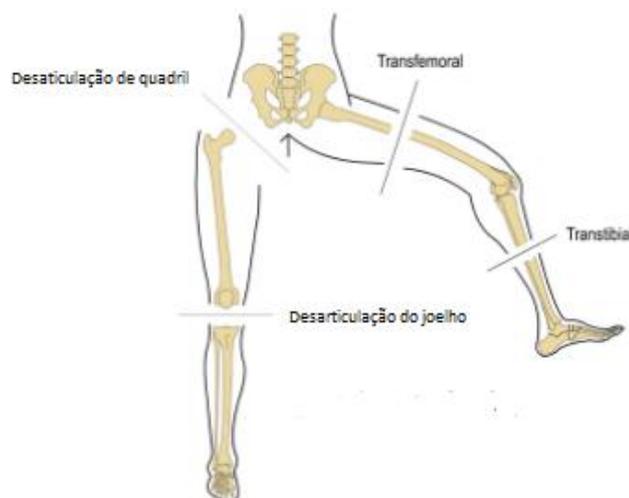


Figura 01: Amputações no membro inferior.

Fonte: Google

A amputação transfemural é realizada entre a desarticulação de joelho e a de quadril, e pode ser dividida em três subníveis, ou seja, em terço proximal, médio e distal. Esse nível de amputação pode ser causado por patologias vasculares, processos traumáticos, infecciosos e neoplásicos ou por anomalias congênitas (CARVALHO, 2003). Embora este nível de amputação seja bastante comum, o paciente que vive com a perda de um membro a nível transfemural enfrenta diversos desafios, tais como: as exigências para aumentar a energia, problemas de equilíbrio e estabilidade (TEIXEIRA, 2008).

Por conta disso um dos focos da recuperação funcional de um paciente amputado é a melhora das fases da marcha independente e funcional. Para isso as próteses são utilizadas para alcançar esse objetivo e diminuir o máximo possível as perdas funcionais. O foco se dá no ortostatismo e na capacidade de deambular com o uso das próteses e soquetes (BLUMENTRITT *et. al.*, 2001; CULHAM *et. al.*, 1986). Estudos da análise do movimento de um paciente que utiliza uma prótese visam elucidar os mecanismos de controle e estratégias do movimento, além de analisar o comportamento das forças de reação da prótese e do soquete em relação ao solo (SOARES *et. al.*, 2003).

A análise da marcha é um dos pontos principais da avaliação fisioterapêutica para se identificar as alterações cinéticas e cinemáticas de um indivíduo (TORO *et al.*, 2003). Ela traz informações sobre a mecânica do sistema músculo-esquelético durante a execução de tarefas motoras, sobre as articulações, as forças trocadas com o ambiente, as cargas transmitidas por meio dos segmentos corporais ou por tecidos corporais individuais (músculos, tendões, fásCIAS) e o trabalho muscular (CAPOZZO *et al.*, 2005).

Para análise da marcha pode ser utilizado um método baseado em câmaras de vídeo com o auxílio de um *Software* que calcula a posição de marcas em três dimensões. Alguns autores como GRIP e HAGER (2013) elucidam as vantagens do sistema de câmaras ópticas que utilizam marcadores de superfícies para obter a captura do movimento. Esse método permite visualizar a posição espacial dos marcadores e somente a partir daí calcular as velocidades, acelerações e ângulos durante a realização do ciclo da marcha (LIMA, 2015).

Outro fator importante para um bom desempenho de um paciente amputado durante a realização da marcha é o uso de um soquete que ajude a manter um equilíbrio

favorável para a deambulação fazendo com que o indivíduo fique estabilizado e sintam-se mais seguro durante as fases de apoio e balanço. O soquete (encaixe) é o principal e o mais importante mecanismo de suspensão de uma prótese em qualquer nível de amputação. Fazer a análise de um soquete se torna importante para a marcha porque os momentos de reação do soquete ao solo serão definidos quando há uma força sobre o centro geométrico, que é transferido por meio da prótese em suas extremidades distais durante a deambulação, onde ocorrem alterações tanto no plano sagital quanto no plano coronal com o uso do soquete juntamente com a prótese (BOONE, 2005).

Já em relação à mobilidade entende-se que ela é fundamental na qualidade de vida de um ser humano e, para um indivíduo que sofreu um processo de amputação ela se torna mais complexa, pois eles dependerão de um membro artificial para o suporte de peso e mobilidade na deambulação, dessa forma pode ocorrer alterações durante a marcha, tornando-a assimétrica (KAUFMAN *et al*, 2011). Tudo isso ocasionará para o indivíduo dificuldade em realizar suas atividades de vida diária e impactará em seu rendimento tanto nas atividades comuns e rotineiras em sua residência como em suas atividades laborais, de forma a interferir diretamente na sua atividade e participação social.

Por conta disso as avaliações funcionais são feitas com auxílio dos questionários próprios para este fim, são de extrema importância para a mensuração do processo de reabilitação proposto e da eficácia do tratamento em amputados (KAGEYAMA, 2007). Porém, no Brasil não há nenhum instrumento que faça essa análise tornando-se necessário buscar questionários internacionais que auxiliem os terapeutas na busca de um protocolo que avalie a eficácia funcional pós-colocação de uma prótese. O *Functional Measure for Amputees Questionnaire (FMA)* obtém resultados subjetivos e objetivos que influenciam no uso da prótese que foi prescrita, além de ser um questionário retrospectivo que avalia a percepção dos participantes sobre a mobilidade com dispositivos protéticos. Esse é um questionário elaborado no exterior e validado para o seu uso no Brasil (KAGEYAMA, 2007).

Diante dos dados apresentados o presente trabalho tem como objetivo encontrar formas de melhorar a deambulação de pacientes que fazem uso de próteses e minimizar ao máximo as alterações de equilíbrio e postura que são identificadas ao longo do tratamento pós protetização. Por isso, foi proposta a avaliação da marcha em indivíduos amputados em nível transfemoral. O objetivo é entender o processo de alteração do padrão fisiológico

de marcha humana e identificar debilidades e falhas que tornem a marcha desse indivíduo o mais distante da considerada funcional pelo descrito na literatura.

Além disso, após aplicar o questionário das atividades funcionais de vida diária com auxílio do *Functional Measure forem Amputees Questionnaire* (Questionário de Medida Funcional para Amputados) será possível avaliar e entender o nível de funcionalidade que esses indivíduos apresentam com o uso dessas próteses que eles possuem.

É necessário ofertar aos indivíduos amputados uma maior confiabilidade durante a execução da marcha fazendo com que as atividades de vida diária sejam bem realizadas e evite-se ao máximo o risco de quedas. Pensar no bem estar do paciente e na melhora da qualidade de vida para cada um deles é ideal para todo tratamento fisioterapêutico e deve ser sempre um dos objetivos de todo profissional.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar comparativamente a marcha e a funcionalidade de indivíduos amputados transfemurais e não amputados.

### 1.2.2 Objetivos específicos

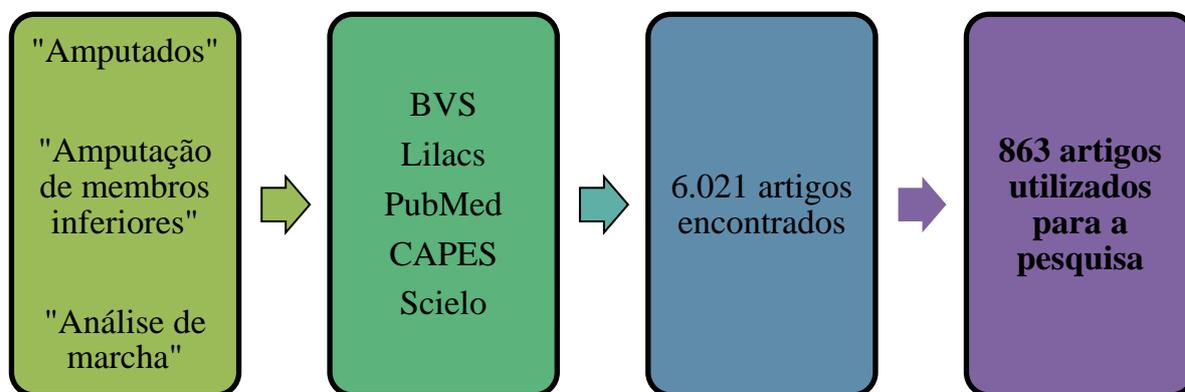
- Investigar os resultados da análise da marcha;
- Análisar as atividades funcionais de vida diária por meio da aplicação do *Functional Measure for Amputees Questionnaire* (Questionário de Medida Funcional para Amputados);
- Determinar os pontos anatômicos para acoplamento dos marcadores reflexivos.

## 1.3 REVISÃO DA LITERATURA

A pesquisa das bases bibliográficas utilizadas nesse estudo considerou a busca em livros, teses, monografias e artigos indexados nas bases de dados BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), Lilacs (Literatura Latino-americana e do Caribe em ciências da saúde), PubMed® (*National Library of Medicine National Institutes of Health*) , Portal de

Periódicos CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior) e SciELO (*Scientific Eletronic Library Online*).

As buscas realizadas nas diferentes bases de dados foram sistematizadas de acordo com os filtros e estratégias de busca de cada domínio. As pesquisas utilizavam os termos “amputados”, “amputação de membros inferiores” e “análise da marcha”, além de suas derivações nos formatos de Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) ou *Medical Subject Headings* (MeSH), de acordo com as exigências da base de dados utilizada. Utilizando somente a combinação dos termos raízes “amputação AND marcha” nos idiomas inglês, português e espanhol somente, o resultado médio de trabalhos reportados foi cerca de 6.021 estudos, estando sua maioria na base do Portal de periódicos CAPES que abarca todas as bases de dados já citadas a cima. Ao especificar o tipo de amputação ou de técnica de análise da marcha utilizada (amputação transfemoral AND marcha), os resultados obtidos reduziram a uma média de 863 trabalhos. Entre as bases pesquisadas observou-se que há uma maioria de estudos fora do Brasil, sendo os estudos brasileiros sobre o tema ainda muito escassos.



#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos, incluindo este capítulo.

O capítulo dois detalha a fundamentação teórica utilizada no estudo. Na fundamentação teoria está detalhada todo o referencial teórico utilizado, assim como as explicações sobre os pontos importantes de estudo que esse trabalho apresenta.

O capítulo três detalha a metodologia de pesquisa utilizada no estudo. A metodologia é parte onde é descrito a forma detalhada de como foi feita a coleta dos dados nos indivíduos analisados.

O capítulo quatro detalha as limitações encontradas no estudo e tudo aquilo que foi desfavorável para o procedimento de coleta e realização do plotagem dos gráficos referentes a angulação do joelho e tornozelo.

O capítulo cinco descreve os resultados obtidos juntamente com os dados de cada indivíduo da pesquisa.

Por fim, o capítulo seis e sete apresenta a discussão e conclusão juntamente com os trabalhos futuros que podem continuar a linha de pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 AMPUTAÇÃO

#### 2.1.1 A amputação e sua prevalência na população

O termo amputação deriva do latim e significa podar ou retirar algo. Hoje se aceita que é a retirada total ou parcial de um membro ou órgão do corpo. Esse procedimento é feito normalmente por meio de cirurgia, mas pode acontecer após um acidente traumático (BOCCOLINE, 2001; CARVALHO, 2003). São várias as causas que podem levar um indivíduo a ter que amputar um membro, dentre elas estão os traumas, as infecções, as neoplasias, doenças vasculares periféricas, sendo que o diabetes é responsável por metade das amputações não traumáticas (MACHADO, *et al.*, 2012).

De acordo com uma pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000) foi identificada a existência de 24,5 milhões de pessoas que possuem algum tipo de deficiência. Essa população representa 14,5% de toda população brasileira. Sendo que desses 5,31% caracteriza-se por apresentar a falta de um membro ou somente parte dele. A prevalência de amputações é de 13,9 por 10.000 habitantes/ano (SPICHLER *et al.* 2004). Sabe-se que na literatura atualmente existem muitas controvérsias quanto ao número de amputações que são realizadas e, por conta disso, há uma variação de 2,8 a 43,9 por 10.000 habitantes/ano, sendo que a prevalência é maior em pacientes que apresentam alguma patologia vascular (GROUP, 2000).

As causas das amputações são as mais variadas possíveis e as estatísticas dessas causas revelam que os motivos vão desde doenças infecciosas (17,9%), vasculares (16,1%), decorrentes de diabetes mellitus (13,6%), devido à gangrena (10,4%), doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo (6%), por neoplasias (1,9%), por doenças de pele e tecido subcutâneo (0,5%) até por malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas (0,4%) (BRASIL, 2013). Além disso, de acordo com SPICHELER *et al.* (2004) como causa da amputação podem ser citada as queimaduras térmicas e elétricas. Já Carvalho (2003) inclui também as amputações que podem ser ocasionados devidos aos acidentes de trabalho e traumas de variadas formas.

Em relação à ocorrência, destacam-se as de membros inferiores (MMII) por serem as mais comuns apresentando a causa vascular como a principal responsável por esse tipo de amputação (DIAS *et al.*, 2006).

A amputação transfemoral gera para o indivíduo uma grande mudança no estilo de vida por conta das alterações funcionais e anatômicas. Uma dessas alterações é no centro de gravidade (CG) e na amplitude de movimento (ADM). Devido essas alterações, esse indivíduo terá um grande gasto de energia para que ele consiga desempenhar suas atividades diárias. Portanto, para que se inicie sua reabilitação funcional é necessário que seja feita a avaliação de sua função muscular e após isso se dê prosseguimento com todo o processo de reabilitação (MARÃES *et. al*, 2014).

### 2.1.2. Níveis de amputação e coto

Entre as amputações que acometem os membros está a amputação transfemoral do membro inferior. De acordo com CARVALHO (2003) ela é realizada entre a desarticulação do joelho e a de quadril, e, mesmo sendo muito comum esse tipo de amputação, o retorno à vida cotidiana e a adaptação às atividades de vida diária não são nada triviais. Esse paciente enfrentará vários desafios como, por exemplo: o corpo exigirá muita energia para ele conseguir deambular agora sem parte do membro inferior, problemas de equilíbrio e até de estabilidade (SMITH, 2004).

O membro residual receberá a denominação de novo membro e será responsável pelo controle da prótese durante o ortostatismo e a deambulação (CARVALHO, 2003; FRITZEN, 2012). Esse coto deve, necessariamente, apresentar boas condições físicas, ou seja, deve estar saudável em vários aspectos como as cicatrizes que devem estar em um bom estado, boa circulação, ou seja, não deve haver nenhum local onde a circulação esteja diminuída, ausência de neuromas terminais e de espículas ósseas e edemas. Tudo isso é importante para que, após a colocação da prótese, esse coto não sofra com nenhuma necrose ou cause dor para o indivíduo. Por fim é importante salientar que as articulações que estão próximas ao local da amputação devem estar com a amplitude de movimento completa, livre, sem algum tipo de deformidade e com boa força muscular (CARVALHO, 2003).

As próteses foram criadas com a intenção de substituir um membro e auxiliar na execução de um movimento. Dessa forma, o indivíduo conseguiria voltar a realizar as atividades que ele executava no dia-a-dia e ser produtivo novamente. O uso de próteses vem desde os tempos antigos, antes do século 15 a.C., porém uma melhoria no uso das mesmas se deu a partir de 1945 que foi quando inúmeros soldados mutilados na Segunda Guerra Mundial começaram a necessitar de instrumentos que os auxiliassem na execução das tarefas diárias e pudessem também minimizar as alterações psicológicas que as amputações causaram em cada um deles (LAFERRIER e GAILEY, 2010).

Por conta disso, aumentaram-se o estudo e as pesquisas em relação às próteses que estavam surgindo e aumentando também a diversidade de componentes protéticos que auxiliassem na confecção das mesmas. Dessa forma, possibilitou-se ao amputado atingir um nível de funcionalidade cada vez mais próximo do fisiológico e padrão (ESQUENAZI e III, 1996; LAFERRIER e GAILEY, 2010).

Portanto, percebe-se que a prótese é um dispositivo bem complexo e que substituirá o membro perdido e, como se sabe, o corpo humano é uma máquina complexa e recriar os elementos que a compõe se torna uma tarefa um tanto difícil (LUSARDI e NIELSEN, 2007).

Existem vários componentes que constituem uma prótese e cada um deles é essencial para um bom funcionamento do componente protético. Entre a prótese e o coto existe o soquete ou encaixe e um bom soquete será crucial para determinar se o indivíduo se adaptará bem a prótese ou não, pois um soquete adequado trará mais estabilidade e equilíbrio na hora da realização da marcha e na realização dos movimentos do dia-a-dia. Portanto, o soquete é considerado a parte mais importante de uma prótese (LAFERRIER e GAILEY, 2010; ROBINSON *et al.*, 2010). O soquete juntamente com o sistema de suspensão afetarão muito o conforto, a mobilidade e a satisfação do indivíduo que foi amputado (ALI *et al.*, 2012).

O encaixe é um elemento muito importante, pois fará o contato direto com o coto e transferirá forças do coto para o restante da prótese. Já o pé protético terá a função de proporcionar a base de suporte para o corpo e ajudará no momento da locomoção de toda a estrutura corporal. Além disso, o pé protético absorve cargas que são geradas durante toda a movimentação do corpo e possibilita movimentos como dorsiflexão e plantiflexão.

Possibilita também a elevação do calcanhar e auxilia em todas as fases que acontecem durante a marcha humana (LUSARDI e NIELSEN, 2007).

É importante citar também que cada um desses encaixes tem suas vantagens e suas desvantagens e isso tudo, juntamente com as condições de cada paciente, tanto de moradia, quanto em relação ao trabalho, ambiente familiar e até as condições financeiras devem ser levadas em conta. Além disso, é sabido que para cada tipo de encaixe a marcha do indivíduo se apresentará de uma maneira, então o padrão da marcha e as alterações que cada marcha apresenta é diferente de acordo com o encaixe que é utilizado. Quando o pesquisador avalia essas diferenças e as evidencia para os terapeutas, médicos e para o próprio paciente, isso faz com que cada um saiba as funções do encaixe e o adapte para os objetivos propostos para o paciente. Essas avaliações serão importantes para guiar a indicação clínica a fim de atingir os objetivos propostos para cada indivíduo.

Com o auxílio desse encaixe, a contração isométrica da musculatura do coto de amputação transmitirá forças que movem a prótese e manterão o controle dela durante a realização da marcha (LAFERRIER e GAILEY, 2010). O desafio é criar um soquete que irá fixar o coto de amputação à prótese, e que não causará problemas na pele e nem dores ao indivíduo (BEIL e STREET, 2004).

Um encaixe ideal se adequará dinamicamente com o coto de amputação e realizará a transmissão adequada do peso e das forças para a movimentação da prótese e o controle do movimento realizado (LAFERRIER e GAILEY, 2010; PAPAIOANNOU *et al.*, 2010). Já um encaixe que não é confeccionado bem e não se adaptou ao indivíduo por estar largo ou o material causar dor ou incomodo poderá ser descartado pelo terapeuta ou abandonado pelo indivíduo (KLUTE, 2011).

Enfim, os aspectos citados são componentes utilizados para o uso de uma prótese e cada um deles deve ser analisado e indicado da melhor forma e para cada tipo de paciente a fim de que os processos de recuperação funcional e de aprendizagem de atividades de vida diária se tornem satisfatórios e tragam bons resultados para o processo de protetização e possibilitem a reinserção participativa do indivíduo na sociedade.

### 2.1.3 Prótese do Sistema Único de Saúde (SUS)

O SUS oferta para a população, que apresenta alguma deficiência, equipamentos de ordem sensorial e que auxiliem a locomoção motora. Tudo de forma gratuita para os usuários que utilizam o SUS. Além das próteses, o governo do Distrito Federal oferta também dispositivos auxiliares como muletas e cadeiras de rodas que auxiliam na movimentação do dia-a-dia (Ministério da Saúde, 2018).

Após ofertar as próteses e os dispositivos auxiliares o governo também disponibiliza um tratamento de reabilitação e acompanhamento à esses indivíduos que sofreram ablação do membro. Eles são encaminhados para os centros de referência ou hospitais que possuam essas especializações e possam orientar bem cada um desses indivíduos com auxílio de médicos, fisioterapeutas e restante da equipe multidisciplinar (Ministério da Saúde, 2018).

Abaixo estão listados os nomes e os valores das próteses ofertadas pelo SUS.

Tabela 1: Nomes e valores das próteses ofertadas pela rede pública do DF (2018).

<b>TABULAÇÃO DAS PRÓTESES OFERTADAS PELO SUS</b>	
<b>Prótese</b>	<b>Valor</b>
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL ARTICULADA DISTAL DE MEMBRO INFERIOR</b>	R\$ 4.059,61
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL ARTICULADA DISTAL DE MEMBRO SUPERIOR</b>	R\$ 3.487,09
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL ARTICULADA PROXIMAL DE MEMBRO INFERIOR</b>	R\$ 3.549,36
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL ARTICULADA PROXIMAL DE MEMBRO SUPERIOR</b>	R\$ 2.241,70
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL BI-ARTICULADA TOTAL</b>	R\$ 5.604,26
<b>PRÓTESE NAO CONVENCIONAL DIAFISARIA</b>	R\$ 2.209,55
<b>PRÓTESE TOTAL DE COTOVELO (COMPONENTE UMERAL CIMENTADO + COMPONENTE ULNAR)</b>	R\$ 3.800,00

Fonte: Governo do Brasil, 2018.

## 2.2 A RECUPERAÇÃO FUNCIONAL

O paciente que sofreu um processo de amputação deve iniciar a reabilitação logo após a cirurgia. O procedimento se dá da seguinte forma: gesso e colocação de faixa no coto para que ocorra a prevenção de edema que é comum ocorrer no pós-operatório e, assim, conseguirá ajustar o coto e melhorar muito todo o processo de cicatrização (TONON e ALUÍSIO, 2003).

Além disso, é importante citar que é necessário evitar retrações na pele por meio de um posicionamento onde o fisioterapeuta irá colocar o paciente no leito na posição ideal, dessa forma ele manterá a amplitude de movimento das articulações envolvidas, adequando também às condições vasomotoras e neurológicas (TONON e ALUÍSIO, 2003).

Após essa fase, que é a aguda, o objetivo será tornar o paciente o mais funcional possível, ou seja, ajudá-lo a realizar as atividades do dia-a-dia para que ele se torne independente com a utilização da prótese (TONON e ALUÍSIO, 2003).

Na fase antes da protetização é importante que se faça fortalecimento muscular e previna a diminuição de deformidades, para isso a fisioterapia consistirá em alongamentos e exercícios ativos. O intuito é reduzir o edema e aumentar o equilíbrio estático e dinâmico. Tudo isso é indispensável para a melhoria na função do membro que foi protetizado e, dessa forma, melhorar a independência e a qualidade de vida do indivíduo (JUNIOR *et al.*, 2009).

Após a protetização o terapeuta ensinará o paciente a utilizar a prótese e o orientará para o treinamento de marcha utilizando a mesma (CARVALHO, 2003; LUSARDI e NIELSEN, 2007). Este é um processo para voltar a ter novamente a marcha utilizando a prótese e é necessário que o amputado receba um treinamento adequado a fim de que as compensações e as alterações da marcha possam ser minimizadas. (WILKEN e MARIN, 2009).

Após todo o processo de reabilitação, o indivíduo deverá ser avaliado e o terapeuta ainda terá o papel de tentar minimizar ao máximo as alterações que ele apresentar nas debilidades funcionais e principalmente na deambulação. Essas alterações são passíveis de ocorrer e podem ser explicadas porque há uma diminuição da geração de torque ativo, diminuição de *feedback* somato-sensorial e de posicionamento do membro inferior, da mobilidade entre o coto e o encaixe, alguns problemas no membro inferior contralateral, dor e limitações dos componentes protéticos (WILKEN e MARIN, 2009).

### 2.3 A MARCHA HUMANA

A marcha humana ou a deambulação é uma forma de locomoção caracterizada por um padrão bípede gerado pelo sistema sensório-motor. É caracterizada por uma prática

funcional e por esse motivo exige interações complexas e coordenação entre os membros e articulações do corpo humano, em especial do membro inferior (BARR e BACKUS, 2003).

De acordo com PERRY e BURNFIELD (2010) a marcha humana acontece por meio de ciclos, os ciclos da marcha. Esse ciclo é definido como a sequência de apoio e balanço. Em uma marcha considerada fisiológica e adequada a fase de apoio será sempre maior que a fase de balanço, em porcentagem, tem-se que a fase de apoio representa 60% e fase de balanço representa 40%. A fase de apoio é dividida em cinco etapas e a fase de balanço é dividida em 3 etapas. A figura abaixo demonstra essa divisão em períodos, fases e tarefas de acordo com PERRY e BURNFIELD (2010).

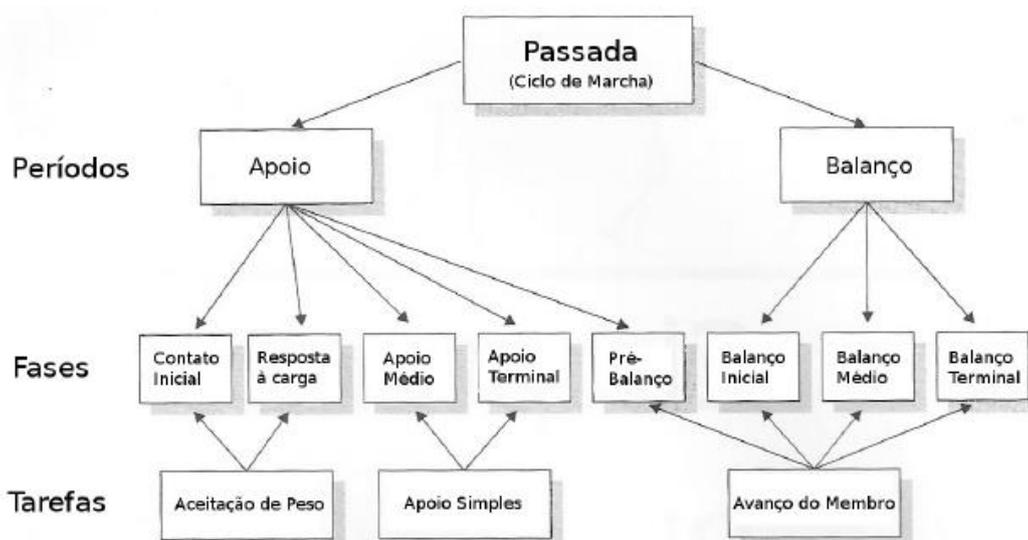


Figura 02 – Divisões do Ciclo da Marcha.  
Fonte: Perry e BurnField (2010).

Existem também as fases que representam um intervalo percentual durante o ciclo da marcha e que são muito importantes para a avaliação do ciclo como um todo, pois variações muito grandes podem representar uma alteração importante a ser diagnosticada. Existem oito fases, são elas: contato inicial, que corresponde de 0 a 2% do ciclo de marcha, resposta à carga, que corresponde de 2% até 12% do ciclo de marcha, apoio médio, que corresponde de 12% até 31% do ciclo de marcha, apoio terminal, que corresponde de 31% até 50% do ciclo de marcha, pré-balanço, que corresponde de 50% até 62% do ciclo de marcha, balanço inicial, que corresponde de 62% até 75% do ciclo de marcha, balanço

médio, que corresponde de 75% até 87% do ciclo de marcha, balanço terminal, que corresponde de 87% até 100% do ciclo de marcha (PERRY; BURNFIELD, 2010).

De acordo com FALOPPA (2008), é possível definir alguns outros conceitos importantes quando se fala em cinemática e biomecânica da marcha, que são a cadência, o passo e a passada. A cadência é o número de passos em função do tempo (minutos), já o passo é marcado a partir do contato inicial do calcanhar do membro de referência até o contato inicial do calcanhar contralateral. A passada será o espaço entre o contato inicial do membro de referência no solo até o contato inicial do mesmo membro no solo. Esse ciclo da marcha é um conjunto de fenômenos existentes dentro de uma passada e corresponde à sequência de funções de um membro, as quais se repetem a cada novo contato inicial.

A marcha é uma forma de locomoção do ser humano e para que isso aconteça, o centro de gravidade do corpo apresenta momentos de desequilíbrio durante o movimento dos membros inferiores. Eles se alternam e dessa forma pelo menos um dos pés fica em contato com o solo (PERRY, 2005). Para que essa locomoção aconteça, o deslocamento do indivíduo será em posição bípede e com uma postura adequada, tendo uma estabilidade adequada e realizando esses movimentos com o menor gasto de energia possível (RIBEIRO, 2006).

São necessários alguns pré-requisitos para que o indivíduo consiga deambular, são eles: estabilidade no apoio, liberação adequada do pé durante a fase de balanço; bom pré-posicionamento do pé para o contato inicial; comprimento adequado do passo; e conservação de energia (RIBEIRO, 2006). Dessa forma é exigido que o indivíduo tenha estabilidade para proporcionar um apoio contra a gravidade, mobilidade para que ele execute os movimentos de forma suave e um controle motor adequado que permitirá a transferência do peso do corpo de um segmento para outro (RIBEIRO, 2006).

O termo marcha representa vários movimentos cíclicos que o corpo executa e que vão se repetir infinitamente a cada passo executado. Por conta disso, ao se estudar a marcha de um indivíduo considera-se o que acontece no curso de um ciclo da marcha, pois todos os outros serão iguais (RIBEIRO, 2006).

O ciclo completo da marcha é delimitado pelo intervalo de tempo onde eventos sucessivos e regulares se completam, esse ciclo também recebe o nome de passada. Os

eventos que acontecem são os seguintes: toque do pé (TP), desprendimento do pé oposto (DPO), toque do pé oposto (TPO) e desprendimento do pé (DP) (SUTHERLAND; et. al, 1998; WINTER, 1991).

A figura abaixo mostra didaticamente em quais momentos ocorre essa movimentação dos ciclos da marcha.

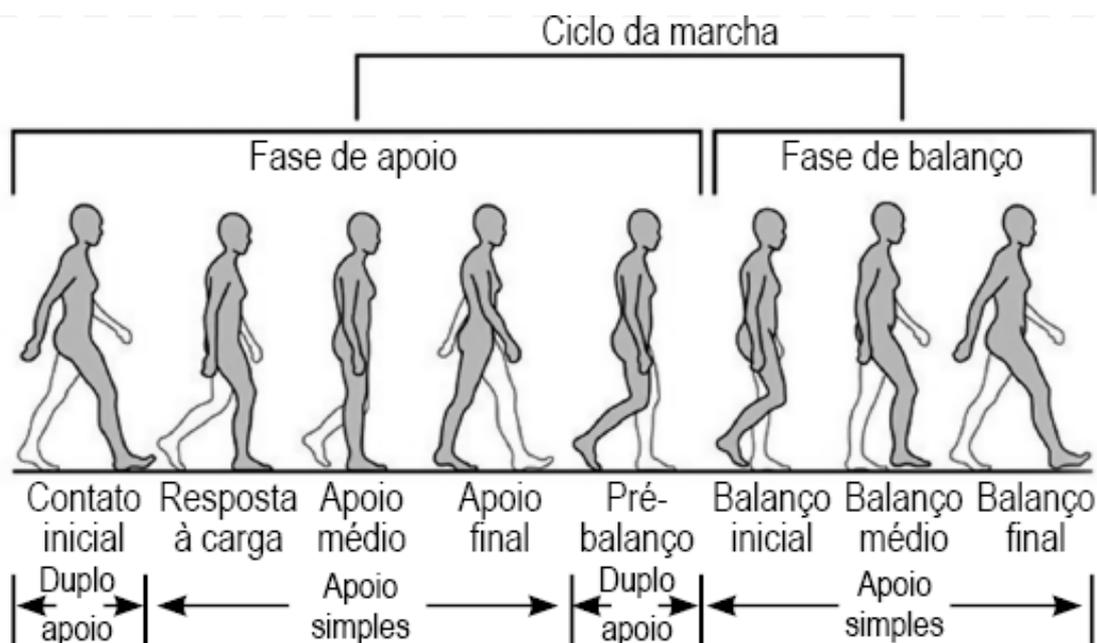


Figura 03 - Fases da marcha e seus ciclos.

Fonte: Site: Cinesiologia e Biomecânica do movimento

Em cada uma das fases existem as subfases, ou seja, vários outros movimentos que ocorrem nas fases de balanço e apoio. Na fase de apoio existem as seguintes subfases: contato inicial, resposta de carga, médio apoio, apoio terminal e pré-balanço. A fase de balanço por sua vez é composta pelas fases: balanço inicial, balanço médio e balanço terminal (ADAMS e PERRY, 1998; PERRY, 2005). Além disso, para que todo o ciclo da marcha ocorra é necessário que algumas atividades básicas aconteçam que são elas: transferência de peso (ou aceitação de peso), apoio simples e avanço do membro (ADAMS e PERRY, 1998; PERRY, 2005; VAUGHAN et. al, 1999). Essas três fases aparecem no ciclo da marcha em três momentos da fase de apoio, pois essa possui três fases básicas. Já

o contato inicial e a resposta a carga está presente na transferência de peso. O médio apoio e o apoio terminal aparecem no apoio simples e o avanço do membro acontece durante o pré-balanço da fase de apoio e toda a fase de balanço (ADAMS, e PERRY 1998; PERRY, 2005).

A cadência, outro fator importante para marcha pode também ser citado. Ela é conceituada de acordo com o número de passos em unidade de tempo e expressa em passos/minuto e pode ser percebida pelo avaliador quando o indivíduo é orientado a andar naturalmente (WINTER, 1991). Para determinar a velocidade de uma marcha é necessário mensurar a distância percorrida pela unidade de tempo, geralmente encontram-se esses valores com essas notações “m/min; m/s ou cm/s”. Identificar a velocidade da marcha é uma forma de representar o desempenho que o indivíduo realiza, sendo considerada uma medida importante da mobilidade que o mesmo apresenta, refletindo nas atividades de vida diária (RIBEIRO, 2006).

O comprimento do passo é a distância entre os mesmos pontos de referência em cada pé durante o duplo apoio. Já o comprimento da passada é a distância entre dois toques no chão do mesmo pé (SUTHERLAND et. al 1998).

### 2.3.1 Análise da marcha

Analisar a marcha humana é muito importante quando se fala em estudar a forma de tratamento adequado para patologias que envolvem o aparelho locomotor e a cinemática do mesmo. Ao avaliar a marcha o terapeuta e o médico terão dados que irão contribuir para que eles compreendam o mecanismo fisiopatológico de cada indivíduo e assim poderão direcionar o atendimento e o tratamento, assim como o planejamento cirúrgico, a prescrição e a adequação de órteses, próteses e instrumentos auxiliares na marcha, comparando assim o pré e o pós-tratamento (SAAD *et al.*, 1996).

Na literatura, de acordo com HAYASHI et. al. (2012) há relatos de que diversos estudos tem investigado a marcha de amputados transfemural e também o joelho protético para atuarem no controle das fases de apoio e de balanço. Foi unânime a conclusão de que é de extrema importância que todos devem analisar a marcha de forma quantitativa e a cinemática realizada pelo indivíduo a fim de melhorar o programa de reabilitação durante a realização do treino da marcha humana.

Mas como deve ser a marcha de um paciente amputado? Na literatura fica preconizado que essa marcha deve ser segura, eficiente e simétrica. É claro que os desvios ocorrem e as causas podem estar relacionadas às deficiências que ocorrem após o membro ser amputado. Déficits na força muscular, contraturas articulares ou a presença de hipersensibilidade devido a neuromas, representam alguns motivos que culminam na alteração da marcha pós amputação. Outros quesitos também podem atrapalhar no processo de reabilitação por meio da marcha humana, são eles: problemas protéticos como alinhamento, soquete mal adaptado ou uma má escolha de componentes para a prótese. Todas essas alterações podem ser observadas durante a análise tridimensional da marcha e uma observação clínica somente não conseguirá detectar com precisão todos esses desvios.

De acordo com ROERDINIK *et al.* (2012) após a amputação unilateral do membro inferior, observado a fase de balanço, foi constatando que a marcha ocorre de forma assimétrica, tanto na fase de balanço quanto na fase de duplo apoio. É diminuída também a fase de propulsão em razão da diminuição da força de reação ao solo que é gerada pelo pé que está utilizando a prótese. Além disso, existem outras alterações importantes como a variação do comprimento do passo entre o membro que está com a prótese e o membro sadio contralateral.

A realidade vista atualmente é que as próteses vão contribuir para a reabilitação da marcha do paciente amputado e, mesmo ocorrendo tantas evoluções e melhorias no campo dos estudos para análise da marcha em amputados e evolução também dos materiais protéticos, as alterações vistas devido à força de reação do solo, da aceleração e dos impactos que ocorrem no aparelho locomotor vão refletir na sobrecarga do sistema articular (JERNBERGER, 1993).

ALONSO *et. al.* (2002) defendem que com o objetivo de avançar o corpo para frente ocorre, durante a marcha, um evento contínuo que se constitui em transferir o peso de um membro inferior para o outro. Dessa forma, fica caracterizado o deslocamento na posição bípede rítmica, aparentemente sem esforço. Mas se sabe que o corpo se movimenta e os músculos juntamente com os ossos, tendões, articulações, fásCIAS e outros elementos se relacionam para realizar essa movimentação do corpo.

As próteses que são utilizadas atualmente contribuem para um melhor desenvolvimento e aperfeiçoamento do marcha humana do amputado. Porém, apesar de

inúmeras contribuições dadas pela análise da marcha humana por pesquisadores e, essa contribuição se dar de forma positiva em relação aos materiais protéticos que são utilizados pelos amputados, há uma ressalva a se fazer, pois as implicações de força de reação do solo, da aceleração e dos impactos repetidamente aplicados no aparelho locomotor vão estar sempre refletindo muita das vezes negativamente em sobrecarga articular (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A análise tridimensional (3D) da marcha é considerada como uma das melhores ferramentas para se analisar a deambulação humana e irá ajudar o avaliador com os dados de cinemática, cinética, de tempo e espaço (SOARES *et al.*, 2003).

As figuras seguintes apresentam os resultados obtidos no estudo de COLLINS *et. al* (2009) e no presente estudo (modelo padrão). O indivíduo analisado fez parte de um protocolo experimental e serviu de parâmetro para análise da marcha dos indivíduos amputados, correlacionando as angulações que eles deveriam obter ao se utilizar uma prótese.

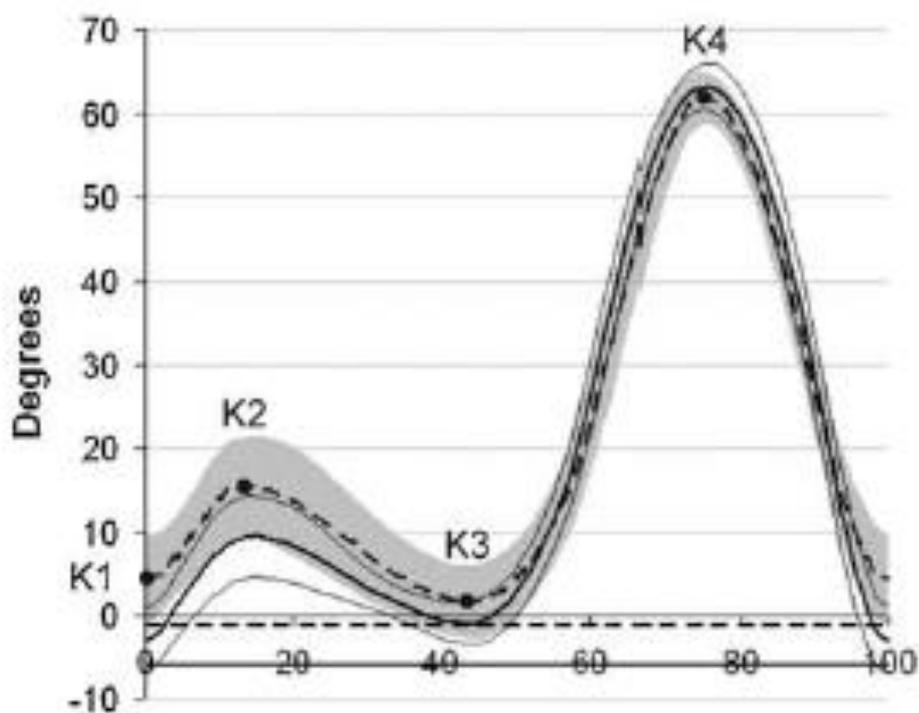


Figura 04: Gráfico da angulação do joelho.

Fonte: Collins *et. al*, 2009.

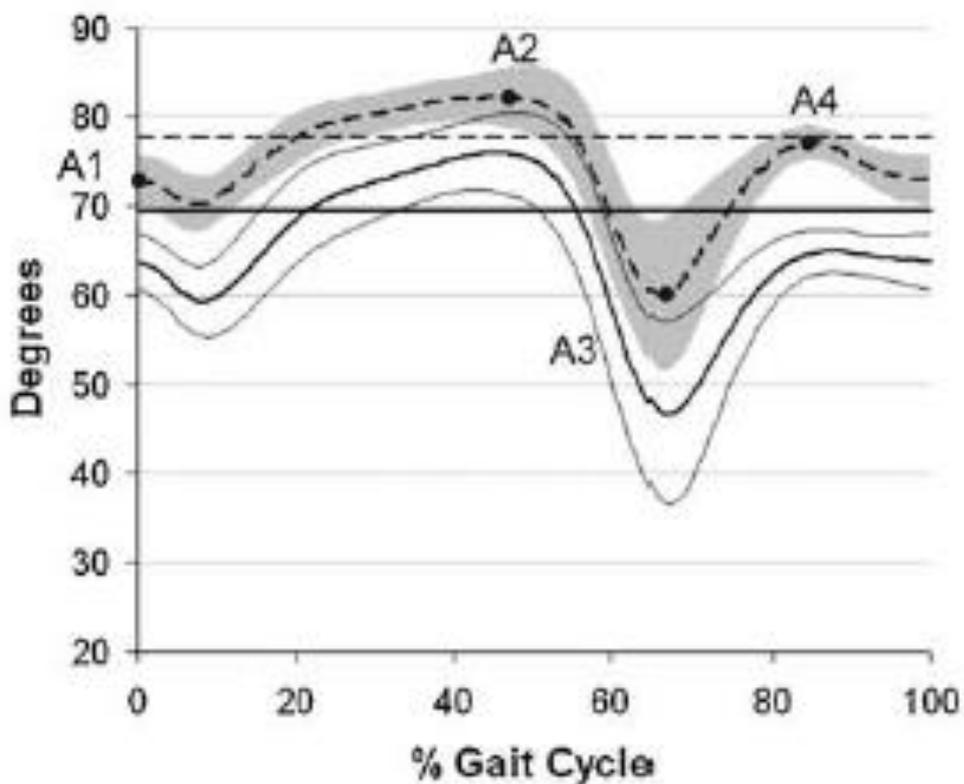


Figura 05: Gráfico da angulação do tornozelo.  
 Fonte: Collins et. al, 2009.

Observa-se que o indivíduo do protocolo experimental apresenta uma marcha fluida com os ângulos dentro da normalidade, apesar de mesmo apresentar um joelho valgo em sua estrutura óssea.

### 2.3.2 Equipamentos de análise de marcha

O QTM (*Qualisys Track Manager*) é um equipamento auxiliar para análise da marcha e foi desenvolvido para ter um funcionamento ótimo usando qualquer modelo de câmera Qualisys. Dessa forma a coleta ficará assegurada e os dados serão precisos e capturados de forma rápida. O sistema Qualisys permite aos pesquisadores realizar capturas em várias formas, Bidimensional (2D), Tridimensional (3D) e 6DOF (seis graus

de liberdade). Os dados são capturados em tempo real com uma latência mínima. Esse equipamento atende desde as necessidades básicas de captura de movimento até as necessidades mais avançadas. Possui uma integração e sincronização sem falhas com placas de força e dispositivos integrados como o Eletromiografia (EMG) e uma transmissão em tempo real com a integração ao software que analisa a marcha (QUALISYS, 2010).

O QTM é construído em torno de um conjunto de vários algoritmos que capturarão o movimento. Isso garantirá um alto desempenho, precisão e baixa latência. Ele suporta todas as câmeras Oqus e ProReflex conectadas, além de detectar todas elas automaticamente. As configurações do software são controladas a partir de um usuário gráfico exibido na tela do computador. Esse usuário gráfico proporcionará um feedback visual e demonstrará cada passo no processo de configuração para análise dos dados (QUALISYS, 2010).

Para a utilização desse equipamento é necessário que ele seja calibrado. O método que o QTM usa para calibração é o método dinâmico onde um bastão com marcadores é movido pelo espaço onde será realizada a coleta, ou seja, onde o indivíduo caminhará ou correrá. Enquanto isso, um objeto de referência ficará posicionado no local para definir as coordenadas do sistema de captura de movimento. Essa calibração é feita em torno de 200 segundos ou mais. Quando os dados são em 2D são utilizadas somente as coordenadas (x,y), já quando são em 3D são utilizadas as coordenadas (x,y,z). O Qualisys é um rastreador que faz tudo isso em tempo real e combina técnicas de oclusão de marcadores e fusão com um algoritmo de rastreamento que é bem veloz e bastante preciso. Já a forma 6DOF oferece 6 graus de liberdade (pitch, roll, Yaw, x, y, z) dados de corpos definidos por quem está manuseando o equipamento. Esses dados 6DOF dão informações sobre a posição e rotação de um corpo em movimento. Todos esses dados também são enviados em tempo real (QUALISYS, 2010).

Os marcadores que serão posicionados no corpo do indivíduo são identificados automaticamente pelo equipamento. O corpo humano é mapeado em tempo real e os marcadores são identificados por meio dos rastreadores. O sistema Qualisys oferecerá uma medição passiva ou ativamente para a identificação dos marcadores. Tudo isso por meio de vídeos e com auxílio do software. Dessa forma o QTM rastreia automaticamente e em

tempo real os dados tanto em 2D, 3D. Os dados são todos exibidos em tela a fim de permitir a confirmação instantânea da aquisição dos mesmos, onde as informações são transferidas para então serem analisadas (QUALISYS, 2010).

As câmeras utilizadas para a captura de imagens possuem baixa latência de até 4ms (quatro milissegundos) e ao conectar uma câmera de vídeo comum, é possível apresentar uma sincronização da imagem juntamente com os dados adquiridos na QTM. Usando uma câmera Oqus com vídeo de alta velocidade, os dados 3D podem ser sobrepostos nos dados de vídeo Oqus para mostrar a visão 3D da câmera. O vídeo Oqus sempre será sincronizado com o marcador dos dados (QUALISYS, 2010).

Os dados analógicos, como EMG e dados da placa de força, podem ser registrados e coletados juntamente com a captura de movimento. Canais individuais e configurações de alcance podem ser facilmente selecionados e alterados visto que o QTM suporta até 128 canais de dados analógicos. Já os marcadores são exibidos em tempo real no monitor em 2D, 3D e 6DOF. Esta função facilita a colocação e ajuste das câmeras e o pesquisador poderá também salvar *layouts* personalizados, que incluem os canais de toda a janela e seu conteúdo. Os layouts são salvos separados do arquivo de captura e, portanto, podem ser reutilizado em qualquer arquivo de captura (QUALISYS, 2010).

Com a função de análise do QTM, a trajetória os dados podem ser filtrados e alguns cálculos, tais como posições, ângulos, velocidade, aceleração e distância, podem ser executados. Todos os dados são facilmente exportados do QTM para diferentes formatos, como TSV (Tab – separated values), C3D (Cordinated 3D file format) e diretamente em Matlab. Os dados exportados podem então serem analisados adicionalmente em um software de terceiros, como Visual3D da C-Motion (QUALISYS, 2010).

As principais áreas de aplicação do QTM são: a análise da marcha e reabilitação de indivíduos, pesquisas em áreas específicas como medicina do esporte, psicologia, neurologia, para mídia e entretenimento, dentre outras (QUALISYS, 2010).

Para realizar a mensuração de movimentos espaciais, são necessários alguns equipamentos e tecnologias que farão a captação de dados para análise e posterior interpretação. Atualmente é utilizado o método de captura de movimentos por meio de câmeras de vídeo. E, alguns autores, como GRIP e H'AGER (2013) discorrem sobre as

vantagens que existem dos sistemas de câmeras ópticas usando marcadores de superfície e não outras técnicas de captura de movimento. A captura de movimentos é feita com sinais provenientes de marcadores, esses podem ser do tipo ativo ou passivo. Marcadores ativos são aqueles que emitem um sinal luminoso ou de infravermelho, já os passivos apenas refletem a luz (QUEIROZ, 2011).

### 2.3.3 Detalhamento da cinética e cinemática da marcha

Analisar cinematicamente o movimento de um ser humano é relacionar as estruturas presentes nesse movimento e as angulações realizadas durante o mesmo. Desta forma, cada segmento do membro é considerado um corpo rígido. Os valores estipulados do movimento são feitas com base nos centros articulares e o que se obtém são os pontos que possuirão maior significância cinemática para a análise (SUTHERLAND; et. al, 1998; BIAFORE et. al, 1991).

Movimento cinético é a descrição do movimento do ser humano em relação à força que pode ser tanto interna como a atividade muscular, quanto externa como a reação ao solo, forças geradas por outras pessoas, cargas externas ou resistências. (TREW e EVERETT, 1997). A mecânica trata da forma como o corpo se movimenta em relação às forças que causam esse movimento. Ao movimentar-se o indivíduo realiza um deslocamento do corpo e isso representa uma mudança de posição no espaço, podendo ser linear ou angular. (SUTHERLAND; et. al, 1998).

Já a cinemática descreve o movimento em termos de deslocamento em seus parâmetros de velocidade e aceleração (MESSENGER, 1997). Quando uma articulação realiza um movimento angular diz-se que houve rotação ou cinemática angular. O movimento tridimensional do corpo rígido é definido por seis quantificadores independentes, três quantificadores translacionais e três quantificadores rotacionais (SUTHERLAND; et. al, 1998). As medidas analisadas em vídeos, e câmeras 2D ou 3D são feitas com referência nos centros articulares que são os pontos de maior significância cinemática.

Para análise da marcha considera-se que a maturidade do ciclo da marcha deve estar avançada, visto que se sabe que o processo de aprendizagem da marcha perfaz vários estágios e depende da maturação do sistema de controle motor do corpo humano. Essa

maturidade é estabelecida completamente aos três e quatro anos de idade (BIAFORE, 1991).

Durante o apoio simples da marcha humana ocorre a elevação do centro de massa. Assim que esse centro atinge sua maior altura – 30% do ciclo da marcha a energia potencial será máxima e a cinética será mínima. Essa ordem logo se inverte no duplo apoio, onde a energia cinética será máxima e a potencial, mínima. Nesse momento há ação potencial das musculaturas do corpo e consumo necessário de oxigênio tanto para dar início à marcha quanto para mantê-la. Para que os movimentos sejam feitos de forma suave e harmônica os membros inferiores e os membros superiores devem seguir trajetórias normais ou quase normais, ou seja, sem alterações patológicas que prejudiquem o desenrolar da marcha humana padrão (SUTHERLAND; et. al, 1998).

### **3 METODOLOGIA**

Trata-se de um estudo analítico, observacional e transversal desenvolvido na Universidade de Brasília (UnB), no laboratório de Análise de Movimento e Processamento de Sinais na Faculdade de Ceilândia - FCE. O local da coleta é um ambiente arejado, climatizado com temperatura ideal para coleta.

Possui aprovação pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília e encontra-se registrado no parecer de número 1446986/16, e CAAE: 38386714.8.0000.0030 (ANEXO A). Para a realização das coletas em cada indivíduo todos eles assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme recomendação do Conselho Nacional de Saúde disposto em resolução nº 196/96 (ANEXO B).

#### **3.1 AMOSTRA**

A amostra foi composta por 04 (quatro) indivíduos do sexo masculino, fisicamente ativos, sendo que dois são amputados transfemurais e dois não amputados. Os voluntários foram selecionados de forma aleatória e intencional.

### **Indivíduos amputados**

O recrutamento dos indivíduos amputados se deu principalmente no Centro de Treinamento de Educação Física Especial de Brasília (CETEFÉ-DF) e também pacientes aleatórios contatados por meio de uma lista adquirida pelo serviço público de saúde. Esses indivíduos recebiam a ligação da pesquisadora para que fossem passadas as informações sobre os procedimentos da coleta. Era explicado para eles que se tratava de uma pesquisa científica e que a participação deles seria de extrema relevância para a continuidade e aprimoramento de próteses como as que eles usam. Se o indivíduo aceitasse participar da pesquisa ele era orientado a comparecer ao local da coleta portando roupas adequadas e com a prótese em uso.

Os critérios de inclusão estabelecidos foram: indivíduos portadores de amputação transfemoral unilateral, com idade entre 20 e 80 anos que estivessem habituados ao uso da prótese. Foram considerados fatores de exclusão: indivíduos possuidores de problemas musculoesqueléticos que inviabilizem a coleta dos dados, alterações metabólicas associadas como diabetes, artrite reumatóide e outras que o incapacitassem de comparecer ao local da pesquisa e contribuir com a coleta dos dados.

Importante salientar que o tipo de prótese utilizada pelos indivíduos da pesquisa foi analisada e relatada em todas as coletas.

### **Indivíduos não-amputados**

Os indivíduos não-amputados foram selecionados por conveniência na Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia e Faculdade Gama. Foram considerados critérios de inclusão: indivíduos não amputados, com idade entre 20 e 40 anos. Os fatores de exclusão aplicados são semelhantes aos do grupo de amputados transfemorais.

A amostra foi, na medida possível, pareada para evitar discrepância muito grande entre os indivíduos da coleta.

## **3.2. COLETA**

Inicialmente foi realizada a triagem do indivíduo com auxílio de uma ficha de avaliação (ANEXO C) utilizada pelos pesquisadores. Com essa ficha foram coletados os dados pessoais, além do peso, altura, profissão, membro dominante e motivo da amputação.

As coletas sempre aconteciam no período da manhã, aos sábados. O laboratório possui um computador para análise e processamentos dos dados coletados e 10 câmeras que faziam a captura dos sinais. Além disso, havia a presença de uma câmera de vídeo para que fosse filmada a deambulação do indivíduo e isso servisse de auxílio para análises futuras.

A figura 06 ilustra o local da coleta realizada durante todo o processo de pesquisa.



Figura 06: Laboratório de Análise de Movimento e Processamento de Sinais – FCE/UNB.

Os dados cinemáticos foram coletados com o auxílio do QTM (Qualisys Track Manager - *QTM versão 2.1.6* da *Qualisys*) que contém um *software* responsável pela captação das imagens e dos sinais que indiquem a e angulação adquirida pelas articulações durante toda a movimentação do corpo. Após o equipamento ser ligado e o *software* estar disponível no computador, é feita a sua calibragem. Padronizou-se o tempo de 300 segundos para a realização de toda calibragem ao longo da passarela. Esse tempo foi

suficiente para que a plataforma fosse calibrada por completo. Em seguida foram fixados os marcadores nos pontos determinados no corpo do indivíduo.

Os marcadores são do tipo passivo reflexivo e foram fixados na pele dos indivíduos nos seguintes pontos: pélvis, coxa, perna e pé.

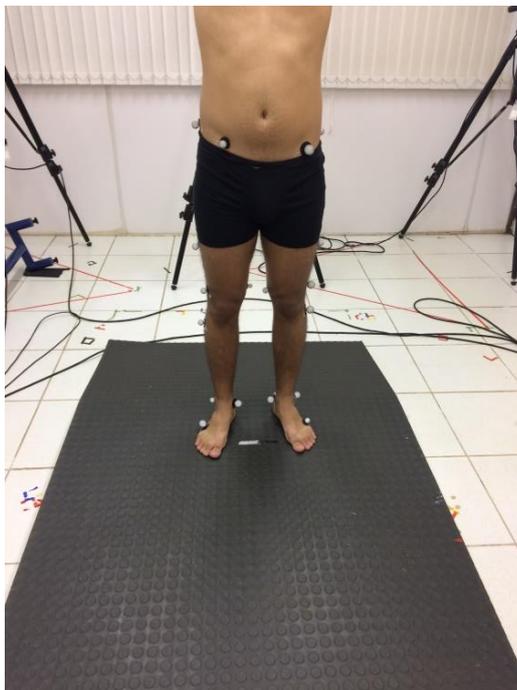


Figura 07: Marcadores vista anterior: Indivíduo não-amputado com os marcadores na EIAS, crista ilíaca, trocanter maior, porção medial da coxa, côndilo lateral e medial do fêmur, cabeça da fíbula, maléolo lateral e medial e cabeça do quinto metatarso.

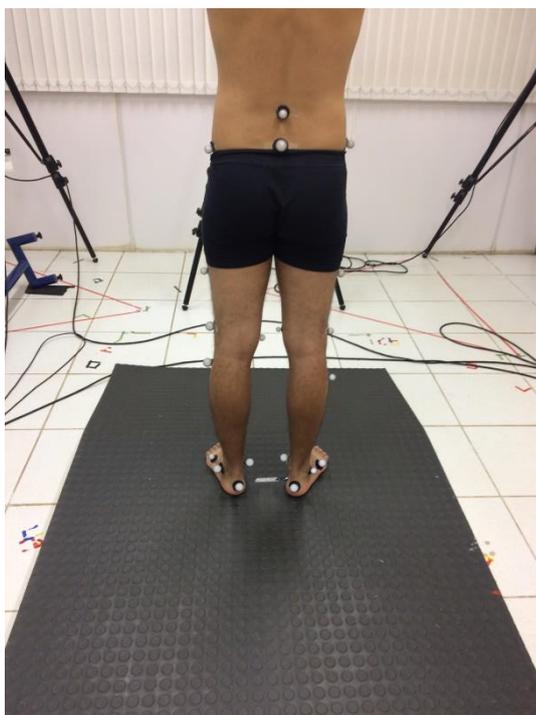


Figura 08: Marcadores vista posterior: Indivíduo não-amputado com os marcadores na crista ilíaca, vértebra lombar e EIPS, trocanter maior e porção medial do fêmur, côndilo medial e lateral, cabeça da fíbula, maléolo medial e maléolo lateral e calcâneo.

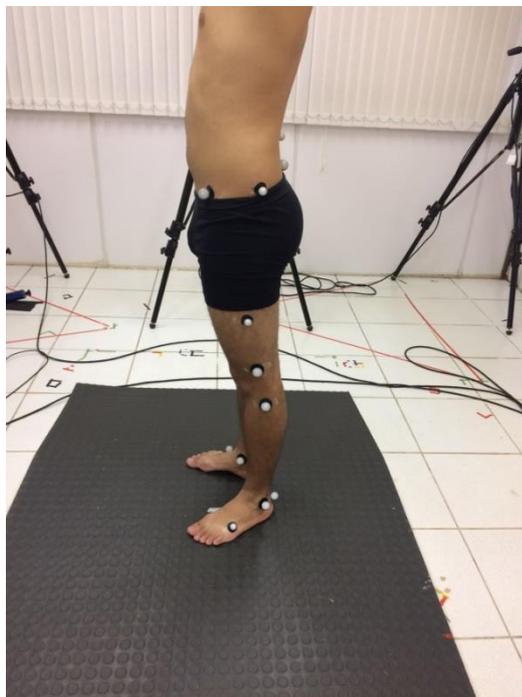


Figura 09: Marcadores vista lateral: Indivíduo não-amputado com os marcadores na EIAS, crista ilíaca, vértebra lombar, EIPS, porção medial da coxa, côndilo lateral, cabeça da fíbula, maléolo lateral, calcâneo e cabeça do quinto metatarso.

Os pontos anatômicos foram determinado com a junção dos pontos definidos por dois autores, Collins e Capozzo. A não utilização de somente um autor foi pelo motivo de não ser possível a reprodução completa do estudo do Collins e, assim, os pesquisadores identificaram na literatura outro autor (Capozzo) que relatava também sobre a utilização desses pontos.

Para detecção dos pontos anatômicos e posterior colocação dos marcadores, foi feita uma palpação e identificada as referências anatômicas. Após esse procedimento os marcadores reflexivos foram acoplados à pele do indivíduo. Eles têm como objetivo rastrear a estrutura que cada segmento do corpo humano apresenta durante o movimento. No segmento do quadril foram colocados cinco marcadores, no da coxa foram quatro marcadores, no segmento da perna foi colocado um marcador e no tornozelo e pé foram colocados quatro marcadores (COLLINS et. al, 2009).

De acordo com COLLINS et. al (2009) e CAPOZZO et al. (2005) os pontos dos marcadores devem ser: ponto mais proeminente da Espinha ilíaca ântero-superior (EIAS) direito e esquerdo e ponto mais proeminente da Espinha ilíaca póstero-superior (EIPS), crista ilíaca, trocanter maior, porção medial da coxa, epicôndilo medial e lateral do fêmur, porção medial da fíbula, cabeça da fíbula, ponto proeminente do maléolo lateral, ponto proeminente do maléolo medial, cabeça do quinto metatarso e parte posterior do calcâneo.

Foram utilizadas 10 câmeras para a captura da movimentação dos marcadores acoplados na pele do indivíduo e, além disso, foi filmado por meio de uma câmera de vídeo específica todo o processo de marcha.



Figura 10: Câmera Oqus Capture Anywhere. *Qualisys Track Manager*.  
Fonte: Qualisys

Para a coleta, o indivíduo utilizou roupa adequada a fim de que os pontos anatômicos ficassem visíveis e de fácil acesso. Isso permite com que a visualização do membro e colocação dos marcadores ocorra de forma mais fidedigna ao proposto pelo autor citado. É importante salientar que sempre ao início da coleta a colocação dos marcadores foi feita sistematicamente pela mesma pessoa, a fim de diminuir a variabilidade da localização destes entre os indivíduos da pesquisa. Além disso, foi feita a assepsia da pele do indivíduo por meio da utilização de álcool 70% e após a limpeza a fixação ocorria com uso de fita dupla face adequada para o procedimento.

O segundo passo foi a orientação dos indivíduos voluntários para que eles caminhem descalços na plataforma em uma velocidade pré-determinada e que fosse confortável para eles com a sua marcha habitual e cadência utilizada do dia-a-dia

(HUBLEY-KOZEY et. al, 2005). Isso aconteceu em uma plataforma de madeira emborrachada de 2,5 (dois metros e meio) de comprimento como ilustrado na figura 01. Foi permitido também um período de prática para que os indivíduos se familiarizassem com o ambiente. Ao sinal do pesquisador o indivíduo começou a deambular sem interrupção durante uma volta, o que correspondeu a aproximadamente 30 segundos para os indivíduos amputados e 15 segundos para os indivíduos controles, não-amputados.

Um protocolo experimental foi testado no laboratório da UnB. O sinal obtido pelo QTM foi satisfatório e, dessa forma foi possível a sua utilização em todo o procedimento da pesquisa.

O paciente amputado ao final respondeu um questionário sobre qualidade de vida (FMA - ANEXO D). Esse questionário avalia a funcionalidade do indivíduo que utiliza sua prótese durante a execução das atividades de vida diária. Não é auto-aplicável, sendo necessário o auxílio da pesquisadora para fazer os questionamentos e esclarecer questão por questão para o indivíduo pesquisado. É composto por 13 perguntas qualitativas e uma avaliação quantitativa e cada alternativa fornece uma pontuação variando de 0 (pior performance) a 3 (melhor performance), sendo que o escore final tem a pontuação máxima de 42 pontos.

Em relação aos parâmetros da marcha, o que se objetivou investigar e analisar foram a cadência, o comprimento da passada e o número de passadas. As variáveis cinemáticas investigadas foram os picos angulares do joelho e tornozelo nas fases de contato inicial (CI), de resposta à carga (RC), de pré-balanço (PB) e de balanço inicial (BI), a ADM total desta articulação durante a fase de resposta à carga e apoio, a ADM do quadril e tornozelo durante a fase de apoio.

Os dados foram coletados pelo QTM e anexados a pasta de cada indivíduo. Algumas coletas foram ineficientes e essas foram descartadas. O motivo de não ter aproveitado alguns dados foi por conta da descalibragem do equipamento e a obtenção de um sinal insatisfatório com algumas falhas no processamento do movimento que o indivíduo realizou. As causas da perda de trajetória podem ser obstrução ou impossibilidade da marca (marcador reflexivo) ser vista por no mínimo três câmeras. Uma solução viável para esse problema seria a reconstrução da trajetória que foi perdida de um algoritmo, porém o ideal é a captura o mais precisa possível do sinal e a obtenção

fidedigna dos sinais apresentados na coleta. O próximo passo é o envio dos dados para o *software* Visual 3D. Esse *software* tem a função de criar um sistema de coordenadas de acordo com cada segmento do corpo que ele encontra a partir dos marcadores reflexivos que foram acoplados no indivíduo nos seus devidos pontos de referência, e assim determinar as posições e orientações instantâneas de cada segmento. Portanto o QTM é o responsável pela captura dos movimentos e posição dos marcadores para composição da análise que é feita no sistema Visual 3D por criar os segmentos e então calcular os deslocamentos angulares. Assim, com o auxílio dos posicionamentos anatômicos dos marcadores na pelve, coxa, perna e pé foi possível construir o modelo para ser utilizado durante as coletas.

### 3.2.1 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados pelo QTM foram analisados com o auxílio dos programas *Anaconda*, *Jupyter notebook*, e *Python*, além do *Software Open Gait Analytics* desenvolvido por LIMA (2015).

A *Anaconda* é uma distribuição livre de linguagens de programação Python e R para processamento de dados em grande escala, análises preditivas e computação científica, que visa simplificar o gerenciamento e implantação de pacotes. As versões de pacote são gerenciadas pelo sistema de gerenciamento de pacotes *conda*.

O *Jupyter Notebook* é uma aplicação web de código aberto que permite criar e compartilhar documentos que contenham código vivo, equações, visualizações e texto narrativo. Os usos incluem: limpeza e transformação de dados, simulação numérica, modelagem estatística, visualização de dados, aprendizado automático de máquinas e entre outros.

*Python* é uma linguagem de programação criada por Guido van Rossum em 1991. Os objetivos do projeto da linguagem eram: produtividade e legibilidade. Em outras palavras, Python é uma linguagem que foi criada para produzir código ideal e fácil de manter de maneira rápida.

O *Software Open Gait Analytics* é utilizado como serviço para análise e simulação de marcha humana e ainda funciona como um protótipo que pode ser, inclusive,

instrumento de futuros estudos para a melhoria do mesmo na análise de captura da marcha humana (LIMA, 2015).

#### **4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO**

O presente estudo é caracterizado por ser do tipo transversal porque as coletas ocorreram em um único momento. Também é analítico, pois as informações que foram coletadas foram analisadas posteriormente por meio de comparações entre o indivíduo amputado e o indivíduo não-amputado. A ideia é a captura dos sinais durante a realização da marcha com o uso do QTM e a aplicação do questionário funcional para os amputados. Então todas as coletas realizadas em amputados foram também feitas no indivíduo não-amputado.

Ao analisar a marcha humana, a pesquisa busca elucidar os aspectos anatômicos, cinesiológicos e cinemáticos do corpo humano a fim de entender o mecanismo de marcha e confrontar com as compensações realizadas pelos indivíduos que sofreram um processo de amputação.

Essa pesquisa foi motivada pela necessidade observada pelos pesquisadores de que seja analisada e estudada a marcha humana e a partir do modelo fisiológico dos indivíduos não amputados tem o objetivo de obter uma criteriosa avaliação da marcha nos indivíduos amputados, comparando esses indivíduos e propondo uma melhora nas próteses que são utilizadas por meio de ajustes e compensações.

Os pesquisadores ressaltam que este trabalho se delimita em estudar a marcha humana de amputados e não amputados transfemorais e analisar esses dois tipos tipos de marcha, não expandindo a pesquisa a outros tipos de indivíduos amputados com diversos tipos de amputação de membro inferior.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 VISÃO GERAL

Após a coleta e as tentativas de encontrar os pontos dos marcadores reflexivos que fossem ideais para a posterior análise, os resultados que foram obtidos puderam ser úteis para avaliação da marcha nos quesitos: número de passos, passadas e angulação da marcha.

Foi observado que o ideal é que o indivíduo caminhe sozinho na plataforma e que a coleta seja realizada cinco vezes para a obtenção da melhor amostra. Esse cuidado foi necessário para que as coletas que apresentassem obstruções durante a captação da imagem pelas câmeras pudessem ser sanadas com coletas melhores e os dados pudessem ter uma análise o mais eficiente possível pelo *software*.

Abaixo a tabela 02 descreve a caracterização da amostra estudada:

Tabela 02: Caracterização da amostra.

Caracterização da amostra						
Indivíduo	Sexo	Idade	Profissão	Tempo de Protetização	Motivo	Tipo de prótese
1	Masculino	62	Aposentado	05 anos	Vascular	SUS
2	Masculino	23	Estudante	-	-	-

1: amputado e 2: não-amputado

Foi necessário também determinar os *frames* em que seriam feitas as análises. Os *frames* obtidos durante a realização do protocolo experimental tinham a diferença entre eles aproximadamente de 30 unidades, o que significa uma homogeneidade durante a realização da marcha. Quanto maior a distância entre os *frames* significa desaceleração e quando menor a distância entre os *frames* significa aceleração e consequente velocidade aumentada da marcha juntamente com sua cadência. Como exemplos, na tabela 03 estão os dados dos *frames* do indivíduo analisado durante o protocolo:

Tabela 03: Exemplo de *frames*\*

Passadas	Frames				
	Pé direito	Pé esquerdo	Pé direito	Pé esquerdo	Pé direito
1ª passada	-	70	102	132	170
2ª passada	300	330	358	397	432

\*Identificados no indivíduo amputado e não-amputado da pesquisa (passadas).

Os gráficos seguintes indicam as angulações nas regiões joelho e tornozelo no plano 3D. Todas elas foram obtidas pelo *Software Open Gait Analytics* por meio do auxílio do Python. As siglas nos gráficos representam os seguintes nomes:

**LR** – *Loading response* (resposta a carga)

**MSt** – *Mid Stance* (aplainamento do pé ou contato médio)

**TSt** – *Terminal Stance* contato final

**PSw** – *Pre-Swing* (pré-balanço)

**ISw** – *Initial Swing* (balance inicial)

**MSw** – *Mid Swing* (balance médio)

**TSw** – *Terminal Swing* (balance final)

Dessa forma, é possível analisar nos gráficos todos os momentos que ocorrem durante a deambulação do indivíduo e identificar as angulações nas articulações durante esse processo. Para a identificação do número de passos e passadas é necessário analisar os vídeos das coletas (Tabela 04).

Tabela 04: Análise dos vídeos.

<b>Passos x Passadas</b>			
Indivíduo	Passadas	Passos	Tempo (segundos)
Amputado 1	13	26	22
Amputado 2	8	16	14
Não-amputado 1	5	11	10
Não-amputado 2	7	14	12

Indivíduos amputados e não-amputados.

E, posteriormente, nas tabelas 05 e 06 estão relatadas as angulações encontradas no indivíduo não amputado e no indivíduo amputados durante suas deambulação na plataforma.

O ciclo da marcha escolhido foi a segunda ou terceira passada e não as iniciais e nem as finais porque as interferências nos marcadores reflexivos serão maiores nesses pontos iniciais e finais. Na tabela estão relatados as angulações durante todo processo da marcha, nas fases de aplainamento do pé, resposta à carga, apoio final, balanço inicial, balanço médio e balanço final.

Tabela 05: Angulação da marcha. Indivíduo não-amputado.

<b>Angulação da marcha - controle (em graus)</b>				
	Joelho direito	Joelho esquerdo	Tornozelo direito	Tornozelo esquerdo
<b>LR</b>	15	30	70	63
<b>MSt</b>	19	25	80	78
<b>TSt</b>	19	25	90	83
<b>PSw</b>	25	33	65	75
<b>Isw</b>	30	53	65	0
<b>MSw</b>	30	53	78	73
<b>TSw</b>	20	30	70	65

Valores padrões para joelho e tornozelo.

Os quatro gráficos (imagens 11 a 14) são do joelho e tornozelo coletados do indivíduo não-amputado. Nota-se que as amplitudes angulares das articulações analisadas foram semelhantes aos gráficos descritos por Perry e Burnfield (2005).

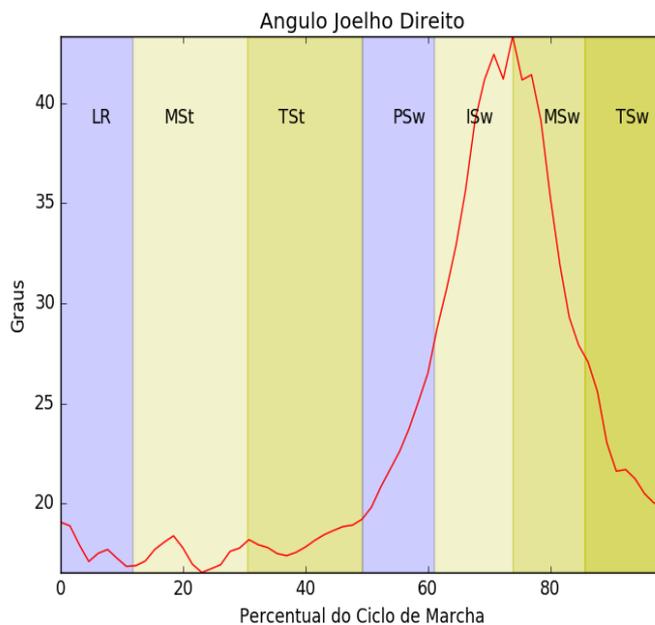


Figura 11: Joelho direito. Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.

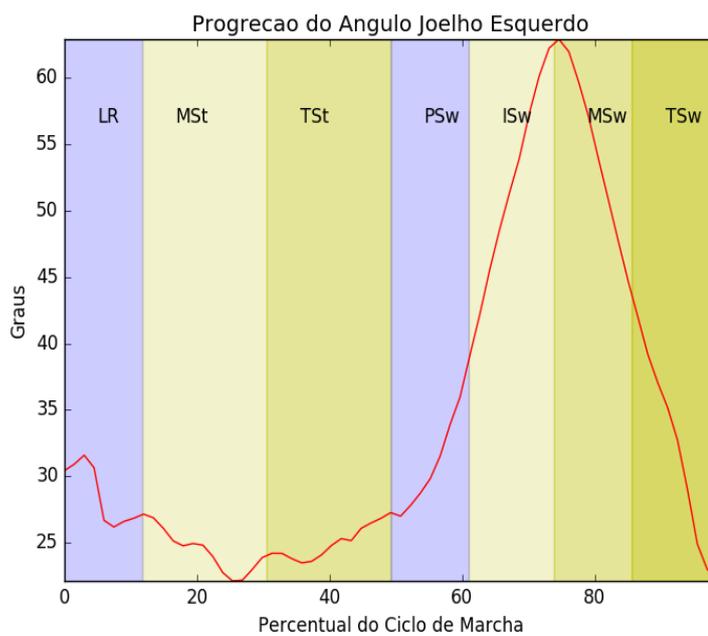


Figura 12: Joelho esquerdo: Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.

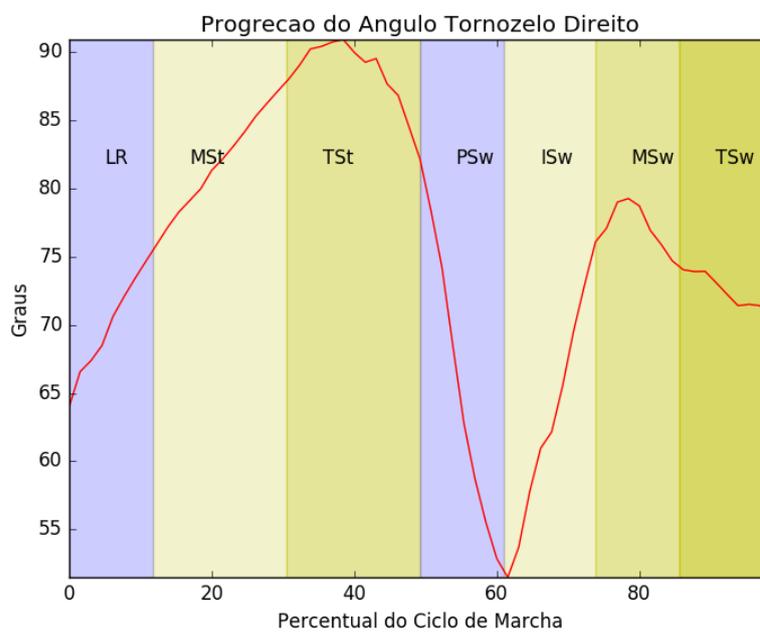


Figura 13: Tornozelo direito: Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.

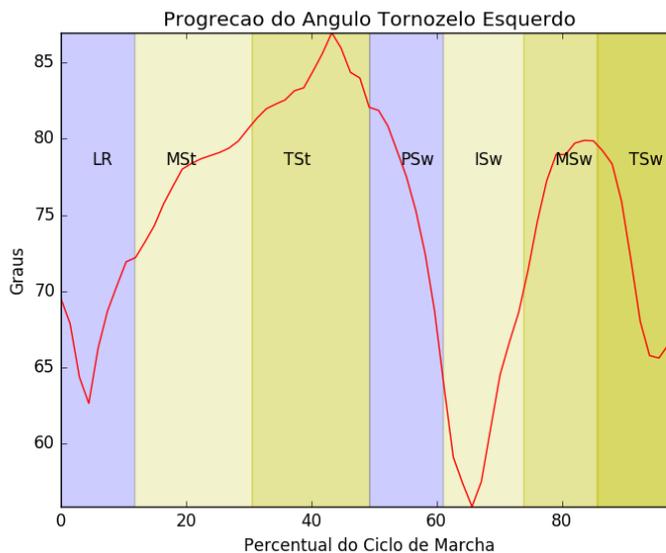


Figura 14: Tornozelo esquerdo: Indivíduo não-amputado. Protocolo experimental.

A tabela 06 mostra as angulações obtidas pelo indivíduo amputado. Nessa coleta foram analisadas as angulações das articulações do joelho e tornozelo dos indivíduos. Na tabela estão relatados as angulações durante todo processo da marcha, nas fases de aplainamento do pé, resposta à carga, apoio final, balanço inicial, balanço médio e balanço final.

Tabela 06: Angulação da marcha. Indivíduo amputado.

<b>Angulação da marcha – Amputado membro inferior esquerdo (em graus)</b>				
	Joelho direito	Joelho esquerdo	Tornozelo direito	Tornozelo esquerdo
<b>LR</b>	0	10	118	94,9
<b>MSt</b>	30	12	113	94,6
<b>TSt</b>	45	13	115	94,4
<b>PSw</b>	10	14	112	94,9
<b>ISw</b>	9	12	114	95,2
<b>MSw</b>	5	10	110	95
<b>TSw</b>	10	0	108	95

Os próximos gráficos são pertencentes ao indivíduo amputado. Ele possui 62 anos de idade, é aposentado e fisicamente ativo, bastante colaborativo. Sua amputação foi devido à problemas vasculares. Apresenta somente 05 anos de amputação e ainda não está bem adaptado ao coto e nem à sua prótese. A prótese que ele utiliza apresenta o sistema de

sucção, ofertada pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Ele é um indivíduo aposentado, porém realiza as atividades do dia a dia independentemente com ou sem o auxílio de uma prótese.

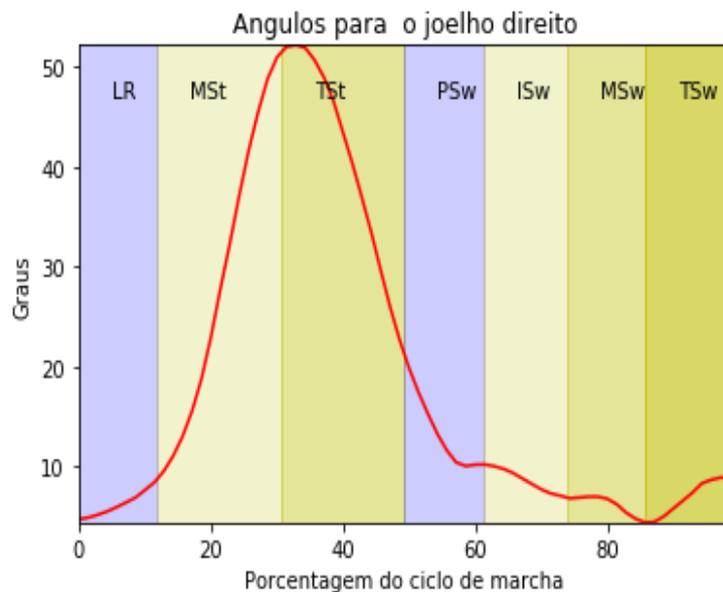


Figura 15: Ângulos joelho direito (sem prótese)

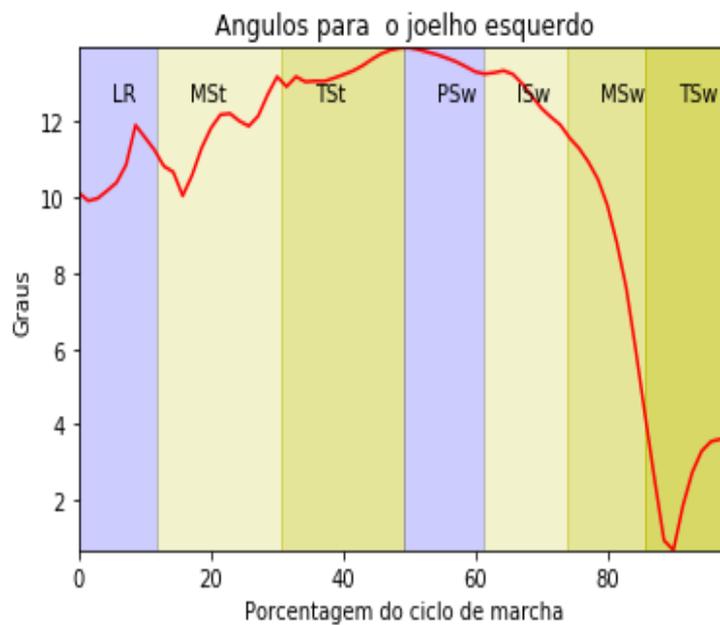


Figura 16: Ângulos joelho esquerdo (com prótese)

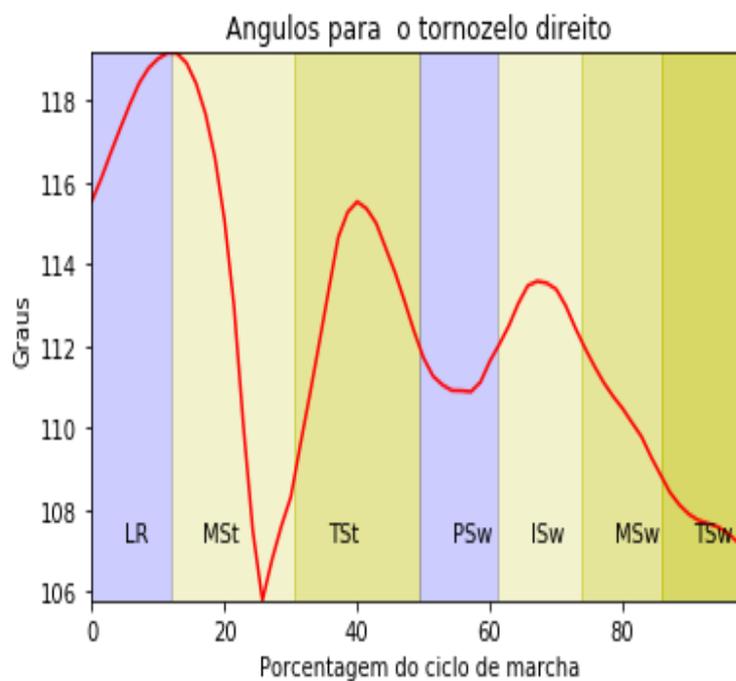


Figura 17: Ângulos tornozelo direito (sem prótese)

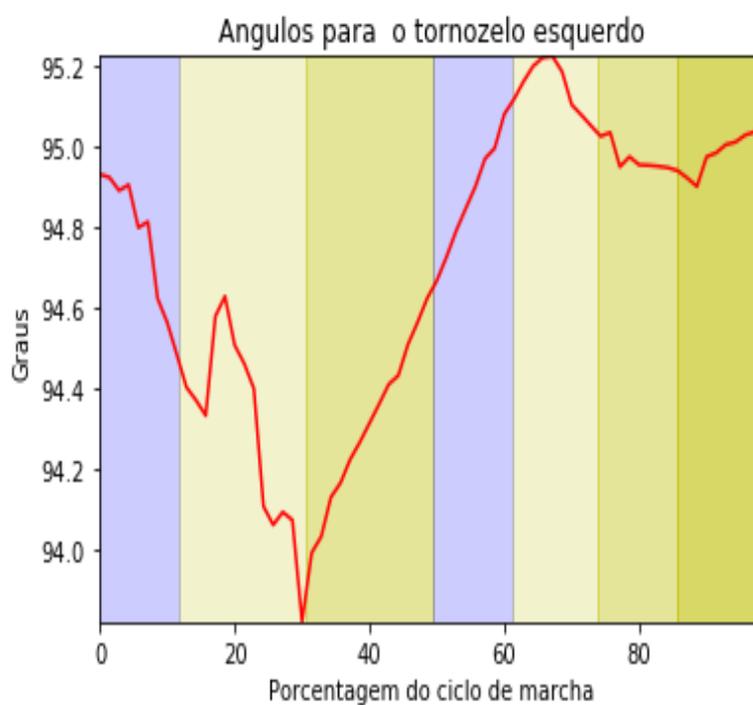


Figura 18: Ângulos tornozelo esquerdo (com prótese)

Após a análise dos ângulos obtidos durante a deambulação da marcha foi necessário a aplicação do questionário de funcionalidade.

Observou-se que há uma dificuldade em compreensão das questões propostas pelo questionário e a necessidade da pesquisadora analisar alguns itens junto com o indivíduo amputado da pesquisa e explicar melhor o que cada item pede para que seja respondido.

Após a coleta dos dados do questionário obteve-se uma tabela com os resultados. Porém foram escolhidas as perguntas fundamentais para que se possa ter uma ideia mais clara sobre o processo de funcionalidade relacionado à adaptação de prótese.

Sobre a aplicação do questionário de funcionalidade para amputados pode-se analisar, de acordo com a tabela 08 as respostas dos indivíduos amputados analisados na pesquisa.

Tabela 07: Questões do FMA relacionadas à mobilidade.

<i>Functional Measure for Amputees Questionnaire - FMA</i>	
FMA	Amputado Prevalência
<b>Você diria que é capaz de colocar a sua prótese</b>	Sozinho
<b>Você consegue realizar as seguintes atividades sozinho com sua prótese?</b>	Levantar-se da cadeira, andar pela casa, andar fora de casa em piso liso, andar fora de casa em piso irregular, andar fora de casa com mau tempo, andar enquanto carrega um objeto.
<b>Você não consegue realizar atividades com a prótese</b>	Subir escadas segurando ou não um corrimão, descer alguns degraus, subir e descer calçada.

FMA	Amputado Prevalência
<b>Quando precisa se locomover dentro de casa usa cadeira de rodas</b>	Não
<b>Quando precisa se locomover dentro de casa você anda com sua prótese?</b>	Sim
<b>Quantas horas por dia você usa sua prótese?</b>	7 horas
<b>Quantos dias da semana você usa sua prótese?</b>	7 dias
<b>Quando você anda com sua prótese, aproximadamente, qual a distância que consegue percorrer sem parar?</b>	“Eu posso andar o quanto eu quiser”
<b>Desde que recebeu alta, você já caiu enquanto usava a prótese? Se sim, quantas vezes</b>	Sim, duas vezes.
<b>Quando você precisa se locomover fora de casa, aproximadamente quantos das suas atividades são feitas com a sua prótese?</b>	Quase todas
<b>Eu sempre uso a minha prótese para me locomover fora de casa</b>	Concordo
<b>Eu não me locomovo rápido o suficiente com a minha prótese fora de casa</b>	Concordo
<b>Eu acho muito cansativo me locomover com a minha prótese dentro de casa</b>	Discordo

---

FMA	Amputado Prevalência
-----	----------------------

---

**Usar a minha prótese para me locomover dentro de casa causa problemas para a minha perna não amputada (por ex. cansaço, dor, inchaço etc.)** Concordo

**Quando uso a minha prótese para me locomover dentro de casa, ela me causa problemas (por exe.: desconforto, transpiração, má circulação etc.).** Concordo

**Usar a minha prótese para me locomover dentro de casa causa problemas para o meu coto (por ex., irritação da pele, desconforto, dor, feridas etc.).** Concordo

**Quando uso minha prótese fora de casa tenho medo de cair** Discordo

**Não uso a minha prótese fora de casa quando a distância a percorrer é muito longa** Discordo

**(Eu não uso a minha prótese para me locomover fora de casa por outras razões por ex., é muito pesada, por dificuldade de acesso fora de casa etc.).** Discordo

**Quando você anda com a sua prótese, aproximadamente, qual a distância que consegue percorrer sem parar?** "Eu posso andar 100 passos sem parar"

**Nas suas atividades do dia-a-dia, dentro e fora de casa, qual a resposta que melhor descreve o grau de dificuldade que você apresenta depois da amputação?** "Eu faço todas as atividades dentro de casa e só consegue fazer algumas fora de casa"

---

## 6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Após a análise dos gráficos e confrontando com o que foi encontrado na literatura observa-se que existem diferenças significativas entre os membros inferiores dos indivíduos analisados. KARK *et. al* (2012) e FRITZEN *et. al.* (2012) dizem que sobre essa diferença há uma diminuição na propriocepção e na própria movimentação da articulação do pé, que é protético.

Nota-se nos resultados da pesquisa e dos indivíduos estudados que o pé não possui um eixo articular que faça com que o indivíduo tenha mobilidade adequada o que prejudica sua deambulação. De acordo com Sagawa *et. al* 2011 durante a marcha de um indivíduo a sua base fica maior e isso é acompanhado dos desvios que ocorrem na pelve para os lados e na coluna lombar que se inclina lateralmente de modo a posicionar o tronco sobre a prótese. Isso justifica o pé protético ser menos articular para proporcionar mais estabilidade ao paciente. Porém se a tecnologia da prótese objetivar a deambulação mais fisiológica para o indivíduo os elementos dela farão com que esses desvios se minimizem e o pé possa ser articulado proporcionando uma marcha mais funcional.

Em relação ao indivíduo amputado foi evidenciado uma marcha fluida, porém com interferências no sinal. Isso é justificado pela proximidade dos marcadores e a necessidade de novas coletas. Esse indivíduo é um estudante sedentário e, com sua coleta foi possível observar uma marcha mais lenta, porém fluida e fisiológica, com menos interferência nos sinais devido a lentidão ser maior.

Ao se analisar os vídeos de forma qualitativa e quantitativa percebe-se que o indivíduo não-amputado apresenta uma marcha lenta quando se verifica o número de passos e passadas. Isso corrobora com os gráficos e salienta a menor ativação muscular observada no indivíduo aposentado. Um relato sobre a falta de mobilidade e propriocepção foi encontrado no estudo de BATENI e OLNEY (2002) onde cinco indivíduos amputados foram analisados em relação a três níveis articulares, quadril, joelho e tornozelo em ambos os membros, o membro amputado e o membro não-amputado. Constatou-se que a maior extensão ocorreu no membro contralateral à amputação, corroborando a ideia de que uma prótese limita bastante a movimentação articular do indivíduo amputado.

Em relação à simetria observa-se que há uma diferença na simetria entre os membros de cada um dos indivíduos, tanto o amputado quanto ao não-amputado. Sobre a

simetria ou assimetria dos membros alguns autores na literatura pacificam que um indivíduo amputado pode apresentar um quadro de marcha assimétrica. Isso se justifica principalmente pela dificuldade e insegurança que ele terá em realizar descarga de peso no membro inferior amputado e protetizado e, também pela ausência de estímulos sensoriais que farão uma diferença enorme no processo de deambulação (SAGAWA *et al.*, 2011).

Outros trabalhos identificaram assimetria entre os membros, tendo um maior tempo de apoio entre eles (FERREIRA *et al.*, 2015). Isso evidencia uma forma do indivíduo se proteger e manter-se firme ao chão por mais tempo antes de avançar o membro e continuar a deambulação. Outro fator que pode fazer com que a assimetria fique aumentada são os problemas no encaixe e no próprio alinhamento da prótese. Quando o indivíduo apresenta esses problemas sua sintomatologia será de dor e desconforto durante a descarga de peso no membro inferior (CARVALHO, 2003; SAGAWA *et al.*, 2011).

Em relação ao indivíduo amputado nota-se que em relação às angulações obtidas tanto no joelho quanto no tornozelo ele apresenta uma reprodução das alterações que o uso de sua prótese mal adaptada o induz a ter e, dessa forma o membro sadio acaba por reproduzir a marcha de forma diferente da identificada na literatura e apresentar angulação semelhante ao lado do membro amputado.

Essas alterações e desequilíbrio são relatados na literatura, pois durante a deambulação alguns fatores também podem causar desequilíbrio, como a demora do indivíduo para alcançar o aplainamento completo do pé durante a resposta à carga. Tudo isso por conta da ausência de mobilidade do membro (SAGAWA *et al.*, 2011).

De acordo com BOARD *et al.* (2001) o uso do encaixe a vácuo melhora o acoplamento do coto ao soquete e mantém o seu volume. Dessa forma, com itens que se amoldam melhor ao coto faz com que a marcha do indivíduo seja cada vez mais simétrica, apresentando assim um período de apoio e comprimento do passo mais uniforme.

Um dos motivos da alteração da marcha se dá por conta de uma má adaptação do soquete ao coto do indivíduo. O encaixe a vácuo possibilita uma melhor suspensão da prótese em uso e conseqüentemente melhorará a transferência de forças para a prótese durante a deambulação. Isso reduzirá e eliminará alguns desvios que podem ocorrer (STREET, 2004), assim como foi observados no indivíduo amputado.

Os desvios observados nas angulações obtidas durante a realização da marcha é maior quando o indivíduo está iniciando as fases da marcha e diminui ao longo do processo. Além disso, a adaptação com o soquete e com a própria prótese pode ocasionar essa alteração inicial na deambulação (WILKEN e MARIN, 2009). Esse é dos um dos motivos em que se optou por escolher a terceira ou quarta passada, durante a coleta de dados do presente estudo, a fim de analisar uma deambulação mais fluida e com o mínimo de intercorrências possível.

Em relação à mobilidade diminuída do tornozelo observa-se que nos indivíduos amputados há uma considerável diminuição devido a prótese não ser articulada na região do tornozelo e isso dificultar a movimentação dessa região articular. O indivíduo manterá quase que imóvel essa região e somente a usará para aplainamento do pé e sustentação do corpo, porém não para melhorar o desempenho da marcha (NOLAN e LEES, 2000).

Em relação ao questionário de medida funcional e de acordo com os resultados obtidos pela pesquisa foi possível observar que o amputado se adaptou melhor à prótese apresenta uma funcionalidade melhor e que suas atividades de vida diária são realizadas com mais fluidez e com independência.

De acordo com KAGEYAMA (2007) o objetivo principal em uma reabilitação é proporcionar ao indivíduo uma melhor funcionalidade e o resultado obtido é multifatorial, ou seja, depende de fatores físicos, emocionais e sociais em relação ao uso da prótese. O questionário de funcionalidade para amputados (FMA) relata exatamente o quadro funcional do indivíduo relatando a sua mobilidade dentro e fora de casa e as dificuldades que ele encontra com as adaptações ao uso de sua prótese nas diversas situações do dia-a-dia. Poucos estudos existem no Brasil que utilizam esse questionário e foi constatado que ele é de suma importância para ser utilizado em uma reavaliação pós-procedimento protético e, assim, indicar formas de atenuar os possíveis desconfortos e alterações que a marcha trará nas atividades de vida diária de cada amputado.

Ao final da pesquisa observou-se que a marcha do indivíduo amputado é muito comprometida por diversos fatores. Primeiro deles, o mau acoplamento do soquete ao coto; segundo: a falta de mobilidade adequada nos pontos de articulação como o tornozelo e até mesmo no joelho; terceiro: a não adaptação da prótese ao indivíduo amputado.

Todos esses itens citados podem servir de auxílio para futuros estudos sobre análise de marcha com esses requisitos como ajustes observação das alterações observadas na marcha, e, assim as próteses ofertadas pela rede pública poderão de melhor qualidade e se adaptarão melhor a cada indivíduo.

Os pesquisadores observaram que a limitação do estudo estava na dificuldade encontrar indivíduos que estejam dispostos a participar da pesquisa. O segundo entrave foi em relação à manipulação do QTM, onde foi necessário buscar cursos para aprender a usar a máquina e isso demandou mais tempo na pesquisa. O terceiro e último entrave encontrado foi a falta de estudos no Brasil que já apresentassem a determinação dos pontos dos marcadores reflexivos, o que demandou dos pesquisadores a criação de um protocolo ideal para a posterior continuação das coletas inicialmente propostas.

## **7 TRABALHOS FUTUROS**

Como trabalhos futuros sugerem-se algumas opções como a realização de uma coleta com um número de amostra maior e a padronização do motivo das amputações.

Além disso, recomenda-se que o público analisado não seja somente aquele advindo da rede pública de saúde, mas também os indivíduos protetizados que foram atendidos na rede privada.

Por fim, para uma melhor análise dos dados seria necessário também o aperfeiçoamento do *Software* utilizado, pois as dificuldades encontradas foram com a perda do sinal em alguns pontos da coleta o que dificultou a plotagem dos gráficos. Outro ponto de fragilidade foi a identificação dos locais dos marcadores reflexivos, onde diversas vezes os pontos se sobressaíam e isso poderia gerar erros na elaboração dos gráficos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams JM, Perry J. **Análise da marcha: aplicação clínica**. In: Rose J, Gamble JG. *Marcha Humana*. 2ª ed. São Paulo: Premier; 1998.

Ali S, Osman NAA, Naqshbandi MM, Eshraghi A, Kamyab M, Gholizadeh H. **Qualitative study of prosthetic suspension systems on transtibial amputees' satisfaction and perceived problems with their prosthetic devices**. *Arch Phys Med Rehabil*, v. 93, 2012.

Alonso VK, Okaji SS, Pinheiro MT, Ribeiro CM, Souza HP, Santos SS, et al. Análise cinemática da marcha em pacientes hemiparéticos. *Fisio Bras* 2002;55:16-23

Alves CG. **Avaliação eletromiográfica de amputados transfemorais para ativação de membros artificiais**. Distrito Federal, 2013.

Barbosa MP. **Amputação transfemoral e desarticulação do joelho**. In: Pedrinelli, A. **Tratamento do paciente com Amputação**. São Paulo: Roca, 2004. Cap.14. p.113-119.

Barr E.A., Backus SI. **Biomecânica da Marcha**. In: Margareta Nordin VHF, editor. *Biomecânica Básica do Sistema Musculoesquelético*: Guanabara Koogan; 2003.

Bateni H, Olney SJ. **Kinematic and Kinetic Variations of Below-Knee Amputee Gait**. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*, 2002.

Beil TL, Street GM. **Comparison of interface pressures with pin and suction suspension systems**. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 2004.

Biafore S, Contrell G, Focht T, Kaufman K., Wyatt M, Sutherland D. **Neuronal networks analysis of gait dynamics**. *Trans. Orthop. Res. Soc*, 1991.

Blumentritt S, Schmalz T, Jarasch R. Significance of static prosthesis alignment for standing and walking of patients with lower limb amputation. *Orthopade*. 2001;30(3):161-8.

Board WJ, Street GM, Caspers C. **A comparison of trans-tibial amputee suction and vacuum socket conditions**. *Prosthetics and Orthotics International*, 2001.

Boccoline, F. **Reabilitação: amputados, amputações e próteses**. 2 ed. São Paulo: Robe livraria e editora, 2001.

Boone D.A. **Investigation of Socket Reactions from Transtibial Prosthetic Malalignment**. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2005.

Brasil MDS. **Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada. Brasília - DF: Ministério da Saúde, 2013.**

Capozzo A, La Croce U, Leardini A, Chiari L. **Human movement analysis using stereophotogrammetry: Part 1: theoretical background.** Gait Posture 2005

Carvalho FS, Kunz VC, Depieri TZ, Cervellini R. Prevalência de amputação em membros inferiores de causa vascular: análise de prontuários. Arq Cienc Saude Unipar. 2005

Carvalho A. **Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação.** São Paulo: Manole, 2003.

Carvalho JA. **Avaliação funcional dos pacientes amputados. Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação.** São Paulo: Manole, 2003.

Collins TD, Ghousayni SN, Ewins DJ, Kent JA. **A six degrees-of freedom marker set for gait analysis: Repeatability and comparison with a modified Helen Hayes set.** Gait & Posture, 2009.

Culham EG, Peat M, Newell E. **Below-knee amputation: a comparison of the effect of the SACH foot and single axis foot on electromyographic patterns during locomotion.** Prosthet Orthot Int. 1986.

Dellon B, Matsuoka Y. **Prosthetics, Exoskeletons, and Rehabilitation.** IEEE Robotics & Automation Magazine, 2007.

Dias J, Pereira M, Amaro S. **Relação da incidência de amputados e protetizados de membros inferiores em 2005, na URE Dr. Demétrio Medrado.** 40p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Fisioterapia. Universidade da Amazônia. Belém, 2006.

Esquenazi A, III RHM. **Rehabilitation in Limb Deficiency.** 4. Limb Amputation. Arch Phys Med Rehabil, 1996.

Faloppa F, Albertoni VM. **Ortopedia e Traumatologia.** Ed. Manole, 2008.

Ferreira JC, Patino CM. What does the p value really mean? J. Bras. Pneumol. 2015 Oct J Bras Pneumol. 2015; 41(5): 485-485.

Fritzen LFDS. **Análise Cinemática da marcha de amputados transtibiais com diferentes tipos de pés protéticos.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Bioengenharia, Universidade do Vale da Paraíba, São José dos Campos, 2012.

Grip H, Hager C. **A new approach to measure functional stability of the knee based on changes in knee axis orientation.** Journal of Biomechanics, 2013.

Group TG. **Epidemiology on lower extremity amputation in centres in Europe**, North America and East Asia. The Global Lower Extremity Amputational Study Group, 2000.

Hayashi Y, Tsujiuchi N, Koizumi T, Uno R, I Matsuda Y, Tsuchiya Y et al. **Gait motion analysis in the unrestrained condition of trans-femoral amputee with a prosthetic limb**. 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California USA, 2012.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo 2010**

Jernberger A. **The neuropathic foot**. Prosthet Orthot Int 1993.

Junior PCN, Mello MA, Monnerat E. **Tratamento fisioterapêutico na fase pre-protetizacão em pacientes com amputação unilateral**. Fisioter Bras 2009.

Kageyama, ERO, **Validação da versão para a língua portuguesa do Funtional Measures for Amputees Questionarie (FMA)**. Dissertação de mestrado. São Paulo, 2007.

Kark L, Vickers D, Mcintosh A, Simmons A. **Use of gait summary measures with lower limb amputees**. Gait & Posture, 2012.

Kaufman KR, Levine JA, Brey RH, Iverson BK, McCrady SK, Padgett DJ, Joyner MJ. **Gait and balance of transfemoral amputees using passive mechanical and microprocessor-controlled prosthetic knees**. Gait & Posture, 2011.

Klute GK. **Vacuum-Assisted Socket Suspension Compared With Pin Suspension for Lower Extremity Amputees: Effect on Fit, Activity, and Limb**. Arch Phys Med Rehabil, 2011.

Lafferrier Justin Z, Gailey R. **Advances in Lower- limb Prosthetic Technology**. Physical Medicine And Rehabilitation Clinics Of North America, 2010.

Lima, RA. **Implementando um software como serviço para análise e simulação de marcha humana**. Distrito Federal, 2015.

Lusardi MM, Nielsen CC. **Orthotics and Prosthetics in Rehabilitation**. Sauders Elsevier, 2007.

Machado Vaz I, Roque V, Pimentel A, Rocha A., Duro H. **Caracterização Psicossocial de uma População Portuguesa de Amputados do Membro Inferior**. Acta MedPort 2012.

Marães VRFS. **Avaliação do quadril de amputados transfemoral durante contração isométrica em dinamômetro isocinético**. Rev Bras Med Esporte, 2014.

Messenger N, Biomechanics. In: Trew, M, Everett, T. **Human movement – An Introductory Text**. 3: Ed; New York: Churchill Livingstone, 1997.

Nolan L, Lees A. **The functional demands on the intact limb during walking for active trans-femoral and trans-tibial amputees**. Prosthetics and Orthotics International, 2000.

Oliveira TP, Luz SCT, Szucs AP, Andrade MC, Avila AOV, Tonon JJ, Rosa FJB. **Análise do impacto mecânico nas próteses de um sujeito bi-amputado durante a marcha**. Fisioter Pesq 2011.

Papaioannou G, Mitrogiannis C, Nianios G, Fiedler G. **Assessment of amputee socket–stump–residual bone kinematics during strenuous activities using Dynamic Roentgen Stereogrammetric Analysis**. Journal of Biomechanics, 2010.

Perry J. **Análise de marcha: marcha normal**. São Paulo: Manole; 2005.

Perry J, Burnfield JM. **Gait Analysis Normal and Pathological**. Editora: Slack Incorporated, 2010.

Qualisys. **Qualisys Track Manager – QTM**. Motion Capture software for tracking all kind of movements. Qualisys.Com, 2010. Disponível em: (<http://www.qualisys.com/wp-content/uploads/2012/11/pi{\}qtm.>)

Qualisys. **Gait analysis & Rehabilitation**. 2013. Disponível em: (<http://www.qualisys.com/applications/biomechanics/gait-analysis-and-rehabilitation/>).

Qualisys. **Oqus MRI**. 2013. Disponível em: (<http://www.qualisys.com/products/hardware/oqus-mri/>). 11, 24

Queiroz DP. **Avaliação de métodos de rastreamento de marcadores para um sistema óptico de captura de movimento**. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

Ribeiro RCS. **Análise computadorizada da marcha de adultos jovens saudáveis**. Dissertação de mestrado da Universidade Católica de Goiás, 2006.

Robinson, Vicky et al. **Major lower limb amputation – what, why and how to achieve the best results**. Orthopaedics And Trauma: amputations and prosthetics, 2010.

Saad M, Battistella LR, Masiero D. **Técnicas de análise de marcha**. Acta Fisiátrica 1996.

Sagawa Y, Turcot K., Armand S, Thevenon A, Vuillerme N, Watelain E. **Biomechanics and physiological parameters during gait in lower-limb amputees: a systematic review**. Gait & Posture, 2011.

Smith DG. **The Transfemoral Amputation**. Part 3: Mastering the Vital Skills. In Motion, 2004.

Soares ASOC, Serrão JC, Amadio AC. **Características eletromiográficas e dinâmicas da marcha de amputados transtibiais com a utilização de calçados esportivos**. Braz J Biomech 2003.

Spichler D, JR, FM, Stambovsky E, Spichler LJF. **Amputações maiores de membros inferiores por doença arterial periférica e diabetes melito no município do Rio de Janeiro**. J. Vasc Br, Rio de Janeiro, 2004.

Spichler ERS, Spichler D, Lessa I, Forti ACE, Franco LJ, Porte REL. **Capture-recapture method to estimate lower extremity amputation rates in Rio de Janeiro, Brazil**. Revista Panamericana de Salud Publica, 2001.

Sutherland DH, Kaufman KR, Moitza JR. **Cinemática da marcha humana normal**. In: Rose J, Gamble JG. (Ed.). Marcha Humana. 2ª ed. São Paulo: Premier; 1998.

Teixeira MF. **A atuação da fisioterapia no paciente com amputação transfemoral unilateral**. Trabalho de conclusão de curso. Rio de Janeiro, 2008.

Tonon SC, Aluisio OV. **Gait analysis in amputees with different levels of amputation**. Rev Bras Biomec 2003.

Toro B, Nester CJ, Farren PC. **The status of gait assessment among physiotherapists in the United Kingdom**. Arch Phys Med Rehabil 2003.

Trew M, Everett T. **Evaluating and Measuring Human Movement**. In: Human movement – An Introductory Text. 3: Ed; New York: Churchill Livingstone, 1997.

Winter DA. **The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological**. 2 ed., Waterloo, University of Waterloo Press. 1991.

Huble-Kozey CL, Deluzio K.J, Landry SC, Mcnutt, JS, Stanish WD. **Neuromuscular alterations during walking in persons with moderate knee osteoarthritis**. J Electromyogr Kinesiol, 2005.

Vaughan NCL, Davis BL, O’Coonor JC. **Dynamics of human gait**. 2ª ed. South, 1999.

Wilken JM, Marin R. **Gait Analysis and Training of people with limb loss**. In: Pasquina, P. F. (Ed.). Care of the Combat Amputee - Textbooks of military medicine: Defense Dept., Army, Walter Reed Army Medical Center, Borden Institute, 2009.

## ANEXOS

## ANEXO A – PARECER DE APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA  
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Desenvolvimento tecnológico e adaptação de prótese ativa em amputados atletas

**Pesquisador:** Vera Regina Fernandes da Silva Marães

**Área Temática:** Equipamentos e dispositivos terapêuticos, novos ou não registrados no País;

**Versão:** 6

**CAAE:** 38386714.8.0000.0030

**Instituição Proponente:** Faculdade de Ceilândia

**Patrocinador Principal:** FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS - FINEP  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 1.446.986

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BRASÍLIA, 11 de Março de 2016

---

**Assinado por:**  
**Keila Elizabeth Fontana**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro

**Bairro:** Asa Norte

**CEP:** 70.910-900

**UF:** DF

**Município:** BRASÍLIA

**Telefone:** (61)3107-1947

**E-mail:** cepfsunb@gmail.com

## ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



### *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE*

O (a) Senhor(a) está sendo convidado(a) a participar do projeto:

*Desenvolvimento tecnológico e adaptação de prótese ativa em amputados atletas*

O objetivo desta pesquisa é: **avaliar a sua condição física e se o nosso equipamento é válido para analisar pacientes com amputação abaixo do quadril!**

O (a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá em nossos estudos, sendo mantido o mais rigoroso sigilo através da omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação será por meio de uma série de avaliações que o(a) senhor(a) deverá participar no setor de Fisioterapia da Faculdade de Ceilândia na data combinada com tempo estimado para sua realização. Será respeitado o tempo de cada um para respondê-lo. Informamos que o(a) Senhor(a) pode se recusar a responder qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o(a) senhor(a).

**As etapas a que o senhor (a) se submeterá são:**

- 1. Avaliação: coleta de dados pessoais, sinais vitais e hábitos de vida**
- 2. Avaliação da marcha com o auxílio do equipamento QTM**
- 3. Aplicação do questionário FMA -*Functional Measure for Amputees Questionnaire* (somente para os pacientes amputados)**

É possível que durante os testes, o senhor tenha sintomas como falta de ar, visão escurecida, tontura, mal estar e até mesmo dores no peito. Mas não se preocupe! O teste será interrompido imediatamente e a equipe de pesquisa estará te acompanhando durante todo o processo e bem atenta a esses sinais. Além disso, somos treinados para atendimento de primeiro socorros e em caso de persistirem os sintomas o atendimento de urgência local será contatado. **Este projeto foi Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da FS/DF** e os resultados da pesquisa serão divulgados na Instituição **Universidade de Brasília - UnB** podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais utilizados na pesquisa ficarão sobre a guarda do pesquisador e poderão ser acessados por você a qualquer tempo, sempre que solicitado.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: Dr(a). Vera Regina, na instituição Faculdade de Ceilândia telefone: 3377-0615 ou 8228-3700. Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o sujeito da pesquisa. **TODAS** as vias devem ser rubricadas por nós e por você.

\_\_\_\_\_ Voluntário ( ) autorizo o registro  
fotográfico da minha avaliação.

\_\_\_\_\_ Pesquisador Responsável

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## ANEXO C – FICHA DE AVALIAÇÃO

Grupo de Pesquisa em Saúde e Tecnologias para Amputados - GPSAT/ UnB

FICHA DE AVALIAÇÃO N° \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

### Parte A

Nome: \_\_\_\_\_  
 Telefone: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_  
 Idade: \_\_\_\_\_ Data de nascimento: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ Escolaridade: \_\_\_\_\_  
 Ocupação atual: \_\_\_\_\_  
 Peso: \_\_\_\_\_Kg Altura: \_\_\_\_\_m IMC: \_\_\_\_\_ Membro inferior dominante: ( )d ( )e  
 Prática atividade física atualmente ( )s ( )n Tipo: \_\_\_\_\_  
 Tempo: \_\_\_\_\_ anos Duração: \_\_\_\_\_x/semana \_\_\_\_\_ minutos/treino  
 Observações: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### Parte B

1. Tipo de amputação: \_\_\_\_\_ Lado:( )d ( )e Causa: \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_
  2. Tipo de prótese: \_\_\_\_\_ Tempo de uso: \_\_\_\_\_
  3. Tipo de encaixe: \_\_\_\_\_
  4. Já utilizou outra prótese anterior a essa ( )s ( )n Tipo: \_\_\_\_\_
  5. Quantas próteses já teve? \_\_\_\_\_ ou ( ) única
  6. Meio de aquisição atual: \_\_\_\_\_ outras : \_\_\_\_\_
  7. Praticava esportes/atividade física antes da amputação? Qual: \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_
  8. Esporte praticado atualmente \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_ anos Duração: \_\_\_\_\_x/semana \_\_\_\_\_min/treino
  9. Uso diário da prótese: ( ) < 1h/dia ( ) > 3hs/dia ( ) > de 10hs/dia ( ) só tira para dormir
  10. Considera a prótese totalmente bem adaptada? ( ) Sim ( ) Não
  11. Se negativo: ( ) apresenta dor no ponto de apoio ( ) encaixe é grande ( ) encaixe é pequeno ( ) não sabe explicar porque ( ) outro: \_\_\_\_\_
  12. A prótese que você utiliza é: ( ) Pesada ( ) Leve
  13. Sente dor com a prótese: ( ) sim ( ) não ( ) às vezes Tipo de dor: \_\_\_\_\_
  14. Local: \_\_\_\_\_
  15. Satisfeito com a prótese que utiliza no dia a dia: ( ) sim ( ) não ( ) em parte  
Por quê: \_\_\_\_\_
  16. Satisfeito com a prótese durante a prática de atividade física:  
Por quê: \_\_\_\_\_
  17. Tem alguma reclamação/sugestão a fazer sobre a prótese: ( ) Sim ( ) Não  
Qual? \_\_\_\_\_
- Observações: \_\_\_\_\_

Início da coleta QTM:	Horário de término:
Interferências:	

## ANEXO D – QUESTIONÁRIO DE MEDIDA FUNCIONAL PARA AMPUTADOS

### Anexo 1 Questionário de Medida Funcional para Amputados

Algumas pessoas decidem não usar sua prótese por várias razões. Ao responder este questionário, por favor, lembre-se que não importa se você usa ou não a sua prótese, contanto que se sinta feliz com a decisão.

Este questionário é absolutamente confidencial; suas respostas não irão comprometer seu benefício da Previdência Social.

1 Você diria que é capaz de colocar a sua prótese...

- a sozinho, sem qualquer dificuldade?
- b sozinho, mas com dificuldade?
- c sozinho, mas com uma outra pessoa o orientando?
- d somente se tiver ajuda de outra pessoa?

2 (score 0 a 42 pontos:)

Atualmente, você consegue realizar as seguintes atividades usando a sua prótese? Mesmo que, para isso, tenha que usar uma bengala ou qualquer outro auxílio para realizá-las?

NÃO = 0; SIM, se alguém me ajudar = 1; SIM, se alguém estiver próximo = 2; SIM, sozinho = 3

- |   | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| a Levantar-se de uma cadeira?   |   |   |   |   |
| b Pegar um objeto do chão quando você está em pé com a sua prótese?                           |   |   |   |   |
| c Levantar-se do chão? (por exemplo, se você tivesse caído)                                   |   |   |   |   |
| d Andar pela casa?  |   |   |   |   |
| e Andar fora de casa em piso liso?  |   |   |   |   |
| f Andar fora de casa em piso irregular ou acidentado? (por exemplo, grama, cascalho, ladeira) |   |   |   |   |
| g Andar fora de casa com mau tempo, por exemplo, com chuva?                                   |   |   |   |   |
| h Subir escadas segurando um corrimão?  |   |   |   |   |
| i Descer escadas segurando um corrimão?   |   |   |   |   |
| j Subir na calçada?   |   |   |   |   |
| k Descer da calçada?  |   |   |   |   |
| l Subir alguns degraus sem um corrimão?   |   |   |   |   |
| m Descer alguns degraus sem um corrimão?  |   |   |   |   |
| n Andar enquanto carrega um objeto? (por exemplo, xícara ou copo, bolsa ou sacola)            |   |   |   |   |

3 Quando você precisa se locomover dentro de casa, aproximadamente quanto das suas atividades são feitas...

Quase nenhuma Metade Quase todas

- |   | Quase nenhuma | Metade | Quase todas |
|---|---------------|--------|-------------|
| a Na cadeira de rodas?  |               |        |             |
| b Andando com sua prótese? (mesmo que precise usar bengala ou andador)                |               |        |             |
| c Andando sem sua prótese, mas usando um auxílio para andar, como muletas ou andador? |               |        |             |

4 Quantas horas por dia você usa sua prótese? \_\_\_\_\_

Quantos dias por semana você usa sua prótese? \_\_\_\_\_

5 O que o impede de usar sua prótese para se locomover dentro de casa:  Concordo  Discordo

- |  | Concordo | Discordo |
|--|----------|----------|
| a Eu sempre uso a minha prótese para me locomover dentro de casa<br><i>Se o paciente responder que concorda, ignore os itens seguintes e passe para a questão 6; se responder que não concorda, então complete o restante desta questão, até o item i.</i> |          |          |
| b Eu não me locomovo rápido o suficiente com a minha prótese dentro de casa  |          |          |
| c Eu acho muito cansativo me locomover com a minha prótese dentro de casa  |          |          |
| d Usar a minha prótese para me locomover dentro de casa causa problemas para a minha perna não amputada (por ex. cansaço, dor, inchaço etc.)   |          |          |
| e Quando uso a minha prótese para me locomover dentro de casa, ela me causa problemas (por ex: desconforto, transpiração, má circulação etc.)  |          |          |
| f Usar a minha prótese para me locomover dentro de casa causa problemas para o meu coto (por ex., irritação da pele, desconforto, dor, feridas etc.)   |          |          |
| g Usar a minha prótese para me locomover dentro de casa me faz sentir inseguro   |          |          |
| h Eu não uso a minha prótese para me locomover dentro de casa, porque sinto que ela precisa de ajustes (por ex., o cartucho está muito apertado ou muito largo; ou é muito pesada, não há espaço suficiente em casa etc.)                                  |          |          |
| i Eu não uso a minha prótese para me locomover dentro de casa por outras razões  |          |          |

6 Quando você precisa se locomover fora de casa, aproximadamente quanto das suas atividades são feitas... Quase nenhuma   Metade   Quase todas

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| a Na cadeira de rodas?   |  |  |  |
| b Andando com sua prótese, mesmo se usando bengala ou andador? |  |  |  |
| c Andando sem sua prótese, mas usando muletas ou andador?      |  |  |  |

7  que o impede de usar a sua prótese para se locomover fora de casa: Concordo   Discordo

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| a Eu sempre uso a minha prótese para me locomover fora de casa   |  |  |  |
| <i>Se o paciente responder que concorda, ignore os itens seguintes e passe para a questão 8; se responder que não concorda, então complete o restante desta questão, até o item i.</i> |  |  |  |
| b Eu não me locomovo rápido o suficiente com a minha prótese fora de casa  |  |  |  |
| c Eu acho muito cansativo usar minha prótese fora de casa  |  |  |  |
| d Usar a minha prótese para me locomover fora de casa causa problemas para a minha perna não amputada (por ex. cansaço, dor, inchaço etc.)   |  |  |  |
| e Quando uso a minha prótese para me locomover fora de casa, ela me causa problemas (por ex: desconforto, transpiração, má circulação, etc.)   |  |  |  |
| f Usar a minha prótese para me locomover fora de casa causa problemas para o meu coto (por ex., irritação da pele, desconforto, dor, feridas etc.)                                     |  |  |  |
| g Quando uso minha prótese fora de casa tenho medo de cair   |  |  |  |
| h Não uso a minha prótese fora de casa quando a distância a percorrer é muito longa  |  |  |  |
| i Eu não uso a minha prótese para me locomover fora de casa por outras razões (por ex., é muito pesada, por dificuldade de acesso fora de casa etc.)                                   |  |  |  |

8 Quando você anda com a sua prótese, aproximadamente, qual a distância que consegue percorrer sem parar?

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| a Eu posso andar o quanto eu quiser.   | <input type="checkbox"/> |
| b Eu posso andar aproximadamente 100 passos sem parar.                                 | <input type="checkbox"/> |
| c Eu posso andar mais que 30 passos de uma vez, mas menos do que 100 passos sem parar. | <input type="checkbox"/> |
| d Eu posso andar entre 10 e 30 passos sem parar.                                       | <input type="checkbox"/> |
| e Eu posso andar menos de 10 passos sem parar.   | <input type="checkbox"/> |
| f Eu não consigo andar com a minha prótese.  | <input type="checkbox"/> |

9 Desde que você recebeu alta, você caiu enquanto usava a sua prótese?

Sim  Quantas vezes no último mês? \_\_\_\_\_ Não

10 Que tipo de auxílio(s) para andar você mais usa para realizar as atividades com a prótese? (por ex., levantar-se, andar, subir escadas etc.) Dentro de casa   Fora de casa

- |                              |  |  |
|------------------------------|--|--|
| a Nenhum                     |  |  |
| b 1 bengala                  |  |  |
| c 2 bengalas                 |  |  |
| d 1 bengala com 4 pés        |  |  |
| e Muletas                    |  |  |
| f Andador                    |  |  |
| g Outros (especificar) _____ |  |  |

*As duas próximas questões, 11 e 12, só serão feitas se o paciente não estiver usando a prótese. Se o paciente usa a prótese, passe para a questão 13.*

11 Quando você parou de usar a sua prótese?

- |  |   |
|--|---|
| a Há menos de 1 mês <input type="checkbox"/>   | e Há menos de 3 anos <input type="checkbox"/> |
| b Há menos de 6 meses <input type="checkbox"/> | f Há menos de 4 anos <input type="checkbox"/> |
| c Há menos de 1 ano <input type="checkbox"/>   | g Há 4 anos ou mais <input type="checkbox"/>  |
| d Há menos de 2 anos <input type="checkbox"/>  | h Eu nunca a usei <input type="checkbox"/>    |

12 Por que você parou de usar a sua prótese?

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| a O cartucho da minha prótese estava muito largo para o meu coto.                        | <input type="checkbox"/> |
| b O cartucho da minha prótese estava muito apertado para o meu coto.                     | <input type="checkbox"/> |
| c Era muito cansativo.   | <input type="checkbox"/> |
| d Foi realizada uma nova cirurgia no meu coto (por ex., nova amputação, outra cirurgia). | <input type="checkbox"/> |
| e Outros motivos (especificar) _____   |                          |

**13 (Reformulada)**

Nas suas atividades do dia-a-dia, dentro e fora de casa, qual a resposta que melhor descreve o grau de dificuldade que você apresenta depois da amputação?

- a Eu não era uma pessoa muito ativa antes da minha perna ser amputada.
- b Eu deixei de fazer a maioria das minhas atividades após a amputação da minha perna.
- c Eu só consigo realizar as atividades dentro de casa.
- d Eu faço todas as atividades dentro de casa e só consigo fazer algumas fora de casa.
- e Eu retornei às minhas atividades exatamente como antes da amputação.


**14** Você tem algum comentário a fazer a respeito da sua amputação, da prótese ou da reabilitação?

Obrigado por responder este questionário.

---