

CRIAÇÃO DE UM EXOESQUELETO, BARATO, DE FÁCIL CONSTRUÇÃO E ACESSÍVEL

Túlio Maia¹, Eduardo Ferroni¹, Alexandre Lopes¹

¹Centro Universitário do Sul de Minas, Brasil

RESUMO

A constante evolução da robótica tem trazido diversos benefícios para a vida humana, e tem provado ter potencial para sanar diversos problemas, uma dessas aplicações, é a criação de máquinas que possam prover maior força e destreza a um humano através da combinação de homem e máquina, essa máquina por sua vez é conhecida como exoesqueleto. Embora diversas soluções tenham sido apresentadas, a maioria dessas máquinas sofre com o alto preço aplicado e a dificuldade de construção, tornando o acesso a elas restrito. Esse artigo busca desenvolver uma solução simples e barata visando popularizar o uso desse tipo de equipamento. Para isso, foi analisado como o custo dessas máquinas pode ser reduzido e o seu sistema simplificado, foram utilizadas pesquisas bibliográficas, simulações em CAD e a construção de protótipos. Dessa forma foi possível o desenvolvimento de um sistema barato, e fácil construção, e cujos componentes são de fácil acesso. Através das soluções e do sistema apresentado nesse trabalho é esperada a divulgação desse tipo de tecnologia e a sua consequente popularização.

Palavras-chave: Mobilidade. Robótica. Simplificação

ABSTRACT

The constant evolution of robotics has brought many benefits to human life, and has proven to have the potential to solve many problems, one of these applications is the creation of machines that can provide great strength and dexterity to a human through the combination of man and machine, this machine is known as the exoskeleton. Although several solutions have been presented, most of these machines suffer from the high price charged and the difficulty of construction, making access to them restricted. This article seeks to develop a simple and inexpensive solution aiming to popularize the use of such equipment. For this, we

analyzed how the cost of these machines can be reduced and simplified its system, literature searches, CAD simulations and prototypes were used during the research to reach our goal. Thus it was possible to develop an inexpensive system that can be easy constructed, and whose components are easy to access. Through the solutions and the system presented in this paper we expect that this type of technology become more popular.

Keywords: Mobility. Robotics. Simplification.

INTRODUÇÃO

A robótica sempre mostrou o potencial de revolucionar a vida humana, desde a facilitação de tarefas até a produção em massa, os robôs estão em todos os lugares e tarefas, segundo Craig (2013), os robôs estão mais rápidos e precisos enquanto o seu preço está cada vez menor, assim surge a possibilidade de integrar os seres humanos às máquinas, possibilitando que atividades difíceis de serem realizadas por determinados indivíduos, possam ser realizadas com maior rapidez, segurança e destreza, uma dessas aplicações são os exoesqueletos. Segundo Ramos e Meggiolaro (2013) a junção da força de uma máquina e da capacidade de controle de um ser humano pode amplificar o potencial humano, assim como pode ajudar em processos de reabilitação, é justamente esse o princípio de um exoesqueleto, fornecer uma solução eficiente de amplificação de força e controle através da junção de humano e máquina. O grande problema dessa solução é o alto preço aplicado e a dificuldade de construção desse tipo de equipamento, que muitas vezes usufrui de modernos sensores, atuadores e controladores que proporcionam um movimento preciso e natural, sem muita intervenção do usuário e também ao fato de esse equipamento ser mais utilizados nas forças armadas. O propósito desse artigo é desenvolver um exoesqueleto que atue nos membros inferiores, de forma a ajudar na locomoção de deficientes e de pessoas que desejem ampliar a sua capacidade muscular, sendo em seu princípio uma máquina simples, barata e que possua componentes acessíveis, visando popularizar o uso deste tipo de equipamento entre as mais diversas camadas da sociedade.

MECÂNICA

Para que o exoesqueleto pudesse operar com segurança e confiabilidade, de forma a suportar o peso de pessoas de vários pesos e estaturas, e que o projeto pudesse prosseguir com a escolha dos outros componentes, foi necessário definir um torque mínimo necessário para os motores, assim, os outros componentes poderiam ser dimensionados com base no tamanho e consumo de corrente elétrica e do mesmo.

Segundo Mota (2013) apud Braüne e Fischer, o peso relativo da perna e do pé humano é de 6.5% do peso total, já para Mota (2013) apud Dempster essa porcentagem é de 6.1% e para Mota (2013) apud Clauser et al. ela é de 5.8%, portanto a média entre esses três valores é de 6.133%.

Temos então, que o peso da perna e do pé de uma pessoa média que pesa cerca de 70 kg é de cerca de 4.2931 Kg. Para que esse peso fosse melhor distribuído, consideramos que ele estivesse distribuído para o exoesqueleto através de dois suportes. Assim estaremos distribuindo cerca de 2.14655 kg para cada um destes suportes. Essa informação será utilizada posteriormente no tópico 2.1, sobre motores, para que a eficiência do motor escolhido possa ser validada.

Motores

Segundo Antônio (2008) o motor elétrico é “uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, sem perdas significativas e sem que do processo resulte qualquer elemento poluente”, estas características evidenciam os benefícios dos motores elétricos, tornando-os mais aptos para a movimentação do projeto, levando em conta a sua grande eficiência, preço e manutenção, fatores que impactariam diretamente no custo final do projeto.

A utilização de motores de corrente alternada (entre eles monofásicos, trifásicos, universais e síncronos) foi eliminada, principalmente devido à incompatibilidade de tamanho, eficiência e preço com o projeto e também em razão da incompatibilidade do tipo de corrente já que equipamentos que convertem corrente contínua em corrente alternada em pequenos circuitos eletrônicos são demasiadamente caros e complexos. Conforme explicitado por Ramos (1997), a conversão de corrente DC em AC “obriga o uso de um inversor de corrente

que tem características e funcionalidades diferentes do convencional inversor de tensão” e como a maioria de projetos mecatrônicos tem como fonte de energia uma bateria, que provê corrente contínua, seria muito mais viável trabalhar somente com este tipo de corrente.

Dessa forma foram avaliados três tipos de motores DC, os motores convencionais, os servos motores e os motores de passo, sendo que cada um possuía uma característica distinta e que impactaria diretamente no resultado final. Os servos motores segundo Francisco (2008) são mais utilizados em operações de posicionamento e possuem um excelente torque em relação ao seu tamanho, os motores de passo possuem um alto torque e baixa rotação, também são muito utilizados em operações de posicionamento e em projetos de robótica. De acordo com Nascimento, Alsina e Maitelli (2005) os motores DC convencionais possuem um controle preciso entre velocidades e podem atingir um alto torque quando combinados com caixas de redução.

O uso de servos motores e motores de passo foi avaliado como inviável já que o preço apresentado por esses componentes é muito alto e os mesmos não atingiam a força necessária para o projeto. Assim os esforços foram dedicados na procura de um motor DC convencional barato e eficiente entre os quais se destacou o modelo JC/LC-578VA fabricado pela Mabuchi, um motor popular e barato (cujo preço varia de 25 a 35 reais em lojas brasileiras), utilizado em vidros elétricos de carros e facilmente encontrado que se mostrou extremamente capaz, uma das principais características deste motor foi o seu torque excepcional, que pode chegar a 9,12 N.m (93 kgf) segundo a fabricante, bem acima de outros motores na mesma faixa de preço.

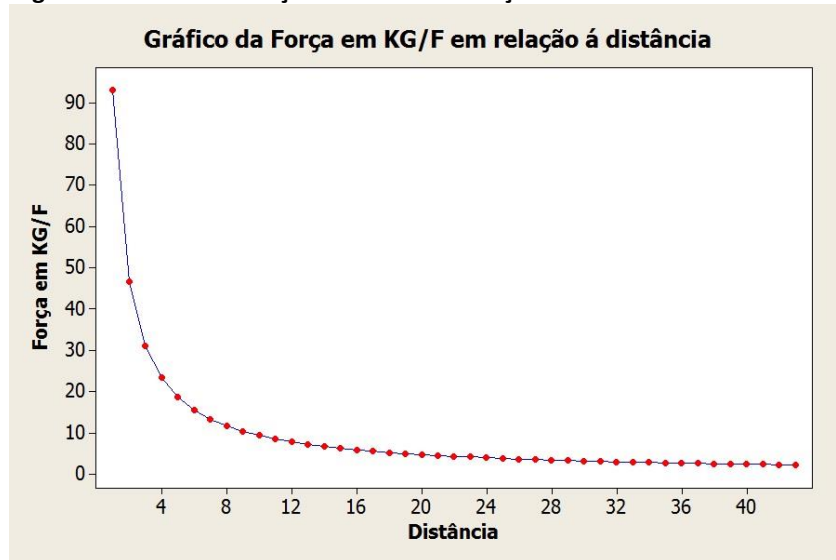
Para validar a eficiência desse motor no projeto, foram utilizadas as informações sobre o peso da perna e pés humanos obtidas posteriormente, e as informações sobre o torque do motor, foi calculada então a distância máxima na qual o motor ainda apresentaria o torque maior que 2.14655kg:

$$93/2.14655= 43.3253\text{cm.}$$

Considerando então que o motor exerceria o torque acima do necessário até os 43.3253cm, ele se mostrou apto para aplicação no projeto.

A partir de então foi construído o gráfico a seguir, para avaliação da melhor distância para posicionamento dos suportes e os limites de carga do motor.

Figura 1 – Gráfico da força do motor em relação a distância



Fonte: Os autores

Após avaliar o gráfico, escolhemos 2 distâncias, 10 cm e 35 cm, sendo a primeira perto do joelho e a segunda, do pé, essas distâncias foram fixadas considerando uma pessoa com peso de 70 kg e com o conjunto abaixo do joelho medindo 52 cm.

Estrutura

Para que o peso do exoesqueleto não fosse um empecilho ao usuário buscamos construir a estrutura com materiais leves, resistentes e duráveis, por conseguinte, o material que se mostrou mais viável foi o Alumínio, visto que segundo Meggiolaro (2006) ele apresenta uma boa resistência, rigidez e baixa densidade auxiliando na diminuição total de peso da estrutura. Para que a estrutura se tornasse mais leve, foram utilizados tubos de alumínio, destarte outras características também foram influenciadas, já que os mesmos apresentam extenso uso estrutural e utilizam menos material, sendo encontrados com mais facilidade e por um preço menor.

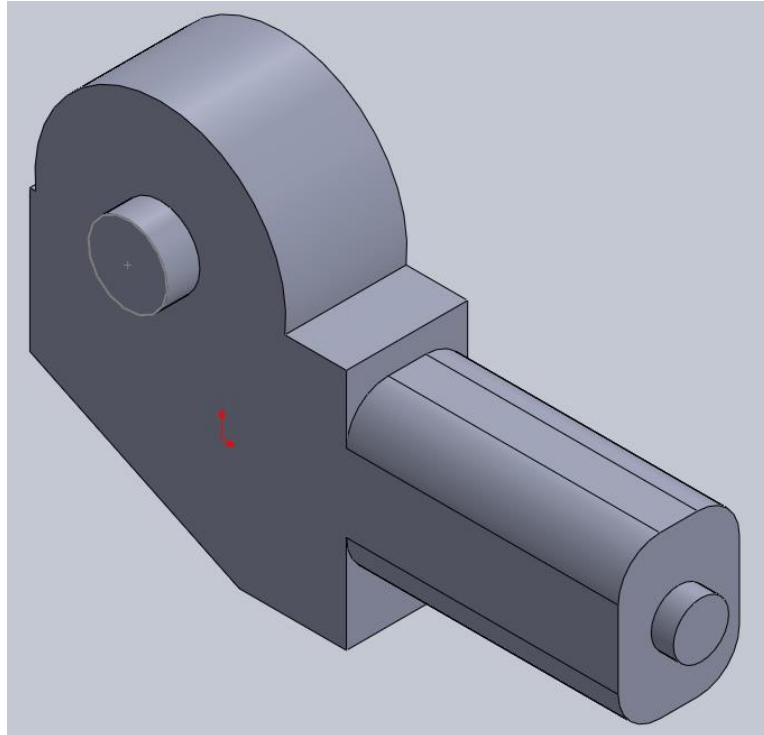
Foram utilizados tubos quadrados com 19mm e 0,6mm de parede, já que os mesmos possuiriam área diâmetro suficiente para apoiar o eixo do motor, e a sua geometria quadrada possibilitaria um encaixe mais fácil do eixo do motor.

Desenhos em CAD

Para auxiliar na construção do protótipo e na alocação da eletrônica no mesmo, foram feitos desenhos dos motores e da estrutura através do software *Solidworks*.

Primeiramente foram feitos os motores, já que o seu posicionamento seria uma das primeiras coisas a se decidir na estrutura

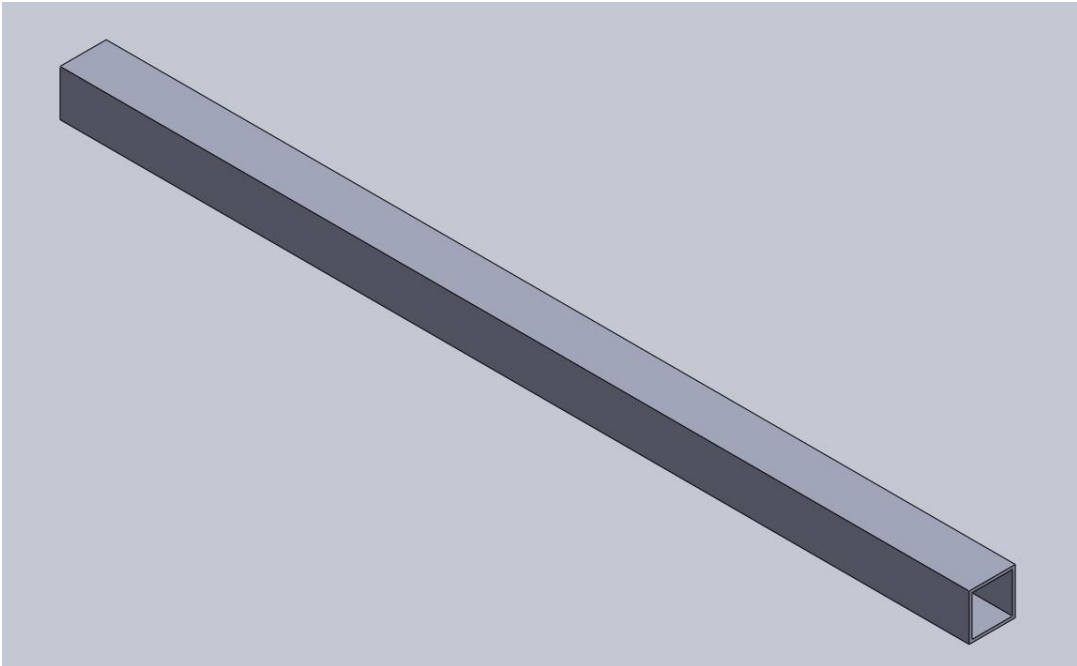
Figura 2 – Representação em CAD do motor



Fonte: Os autores

Logo após foram desenhadas as barras que seriam acopladas aos motores, utilizamos o tamanho padrão de 500mm, mas o mesmo poderia ser alterado dependendo da necessidade do usuário.

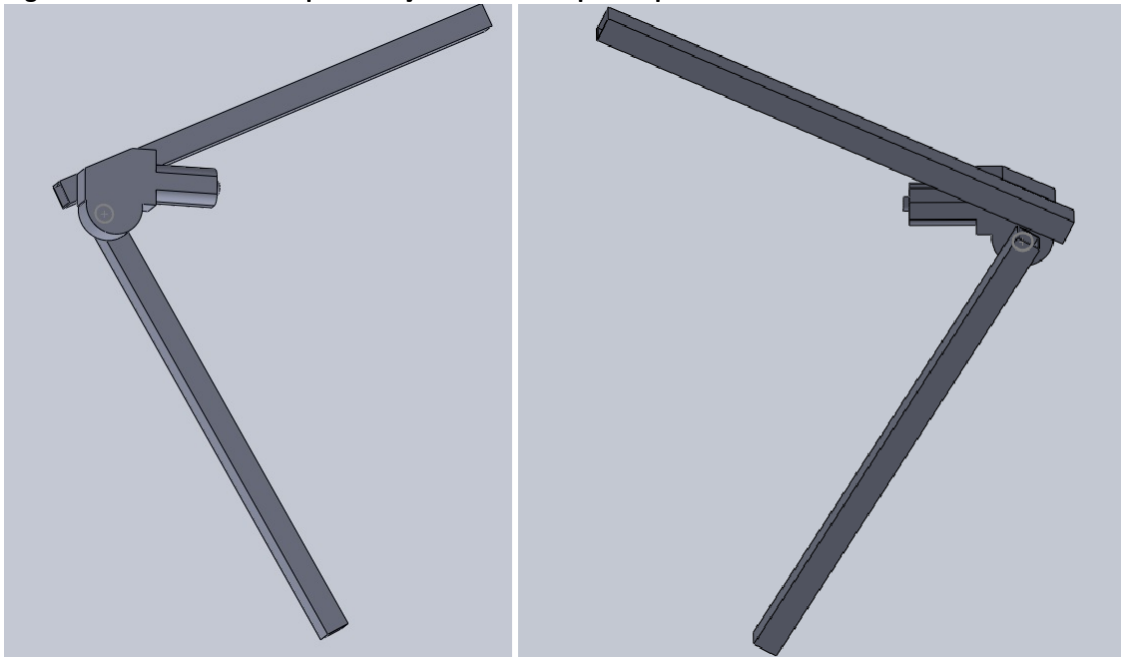
Figura 3 – Representação em CAD da barra utilizada na estrutura



Fonte: Os autores

Com os desenhos desses dois componentes foi possível construir o desenho de uma perna, sendo que este seria utilizado posteriormente para a construção do protótipo.

Figura 4 – Duas vistas da representação em CAD do protótipo



Fonte: Os autores

ELETRÔNICA

Neste tópico serão explicitadas as escolhas dos elementos elétricos e eletrônicos presentes no projeto.

Microcontrolador

Segundo Souza (2001), um microcontrolador pode ser entendido como um componente eletrônico utilizado para o controle de processos lógicos e que pode ser aplicado nos mais diversos processos, devido a sua capacidade de ser programável. Para que o controle de todos os elementos eletrônicos do exoesqueleto pudesse ser feito de forma centralizada e fosse capaz de ser atualizado da forma barata e eficiente foi escolhida uma placa Arduino. Segundo McRoberts(2011) “um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre os dispositivos e os componentes externos conectados a ele”, sendo que uma das grandes vantagens desta plataforma é a sua facilidade de utilização, e o baixo preço aplicado em comparação a outros microcontroladores, assim seria possibilitada a construção do exoesqueleto de forma simples e barata sem impor perdas à funcionalidade do mesmo.

Bateria

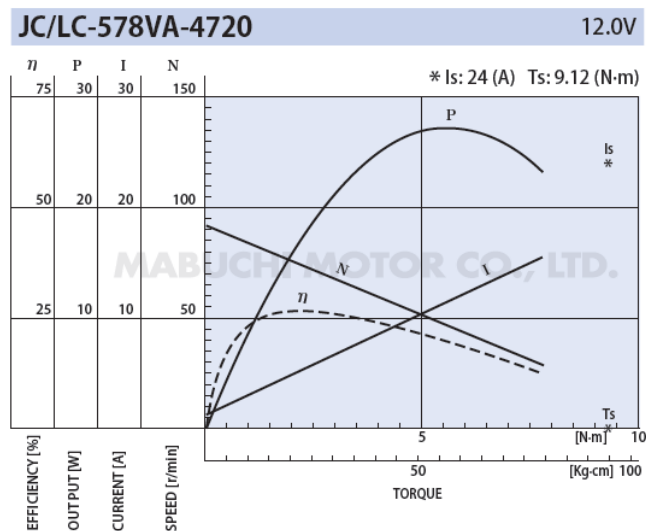
A eletrônica do projeto foi construída para trabalhar com uma tensão de 12V, sendo assim, a única escolha seria o dimensionamento da capacidade da bateria a ser utilizada. Com o uso de uma bateria de 800mAh é possível obter uma autonomia de 4 min e 11 segundos de uso contínuo do motor e da eletrônica (considerando que o motor opere com 2A e o restante da eletrônica com 0,5A) mas como o sistema não exige a movimentação contínua e muitas vezes se encontra ocioso é possível obter uma autonomia bem maior no uso comum, com uma bateria de mesma capacidade.

Sistema de controle dos motores

Para a concepção de um sistema de controle de motores funcional e barato, foi efetuada uma análise mais minuciosa do modelo de motor escolhido, no caso, o motor JC/LC-578VA fabricado pela Mabuchi.

Com a ajuda de um gráfico fornecido pela fabricante, foi possível avaliar o torque e a corrente consumida pelo motor e assim dimensionar os componentes do sistema.

Figura 5 – Gráfico da potencia do motor



Fonte: http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=jclc_578va

Em seu torque máximo, conhecido como Torque Stall, o motor consome cerca de 24A, mas como essa corrente raramente é atingida e os motores não movimentam o esqueleto constantemente, o circuito pode ser projetado para trabalhar com correntes menores, gerando em uma economia significativa em materiais.

A primeira alternativa avaliada foram os relês, segundo Braga (2012), o relê é um dispositivo comutador eletromecânico, e funciona de maneira com que a corrente aplicada em uma bobina, faz com que um contato seja movimentado, e assim um circuito possa ser fechado, dessa maneira podemos fazer com que uma pequena corrente aplicada sobre a bobina possa fechar o circuito e possibilitar a passagem de correntes muito maiores. Os relês usados em automóveis se mostraram confiáveis e competentes, já que o mesmo pode ser facilmente encontrado e pode lidar com altas correntes, infelizmente a tensão e corrente necessárias para o acionamento desses dispositivos tornaram o seu pouco atraente para o projeto, mas os mesmos podem ser utilizados caso se deseje atingir o torque máximo do motor.

Dessa forma eletrônica de acionamento foi construído com base nas pontes H, circuito que segundo Halim (2006) é um sistema popular que possibilita o controle de 2 ou mais motores e da rotação dos mesmos, foi feito o uso desses circuitos já prontos já que os mesmos apresentam um custo relativamente baixo, possuem componentes para proteção do circuito

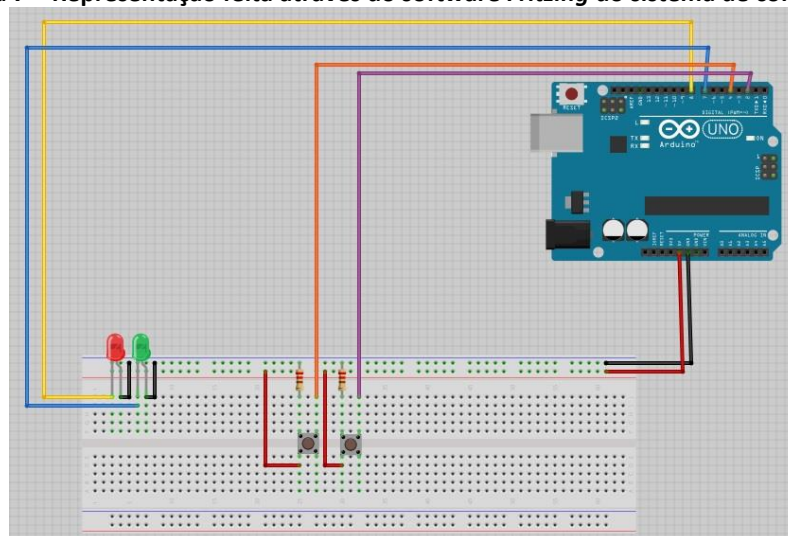
e mesmo modelos mais acessíveis, que lidam com correntes mais baixas, conseguem prover um torque satisfatório ao motor. No protótipo foi utilizado um modelo capaz de prover 2A em cada ponte, sendo que só uma ponte foi utilizada.

Sistema de comando

Para que as intenções do usuário pudessem ser traduzidas em sinais elétricos fossem processadas e finalmente resultarem no deslocamento da estrutura é necessário um sistema de controle. Muitos exoesqueletos utilizam sensores eletromiográficos e eletrodos para detectar sinais elétricos e ondas cerebrais e assim, as intenções do usuário antes mesmo da contração dos músculos. (RAMOS; MEGGIOLARO, 2013)

A utilização deste tipo de sensor possibilita que o uso do exoesqueleto seja feito de forma muito mais natural, como se o mesmo fosse parte do corpo do indivíduo, mas em contrapartida, encarece o preço final do produto, já que, segundo Ramos e Meggiolaro (2013) é necessária a utilização de diversos tipos de sensores em diferentes partes do corpo, além da preparação da pele para a sua aplicação. Portanto optamos por utilizar um sistema de comando mais simples, baseado somente em botões e LED's, que possibilitariam a interação do usuário com a máquina, o constante monitoramento do estado do processamento de comandos e que seriam componentes baratos e de fácil acesso. O sistema concebido é constituído de 2 LED's, 2 push buttons e 2 resistores e 1 placa de fenolite, o rascunho do circuito foi feito através do software Fritzing®, e está representado pela imagem abaixo.

Figura 7 – Representação feita através do software *Fritzing* do sistema de controle



Fonte: Os autores

Mais informações sobre o funcionamento desse circuito serão apresentadas no tópico programação e funcionamento.

PROGRAMAÇÃO E FUNCIONAMENTO

A programação do controlador foi feita através da linguagem C, e foi criada em conjunto com o sistema de comando, visando a economia de materiais e a fácil utilização, dessa forma, ela foi baseada regras apresentadas a seguir. Ao ligar o exoesqueleto o usuário deve indicar em que posição o mesmo se encontra, caso ele se encontre retraído, os dois push buttons devem ser pressionados ao mesmo tempo, caso contrário, nenhum botão necessita ser pressionado, é importante lembrar que o período em que o sistema aguarda o comando inicial tem duração de 5 segundos e durante o mesmo os dois LED'S (vermelho e verde) permanecem acessos. Após a definição da posição do exoesqueleto, caso o usuário deseje realizar um passo deve pressionar o push button direito e caso deseje retrair ou esticar a perna os dois push buttons devem ser pressionados ao mesmo tempo. Durante a execução de uma operação o Led vermelho permanece acesso e o verde apagado, caso o sistema se encontre ocioso, o inverso é apresentado.

CONCLUSÃO

Através da execução deste trabalho e a construção do exoesqueleto se espera a popularização desse tipo de tecnologia entre pessoas com renda mais baixa e que necessitam do auxílio do equipamento para um processo de reabilitação ou para realização de tarefas mais simples. Os componentes acessíveis e baratos, e o sistema de fácil construção e implementação tendem a ser a grande vantagem do projeto.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton C. **Relés: conceitos e aplicações**. São Paulo: Instituto Newton Brava, 2012.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CRAIG, John J.. **Robótica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

FOWLER, Richard. **Fundamentos de Eletricidade**. 7. Ed. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2013. p. 285. (Vol. 2).

HALIM, Wan Zateel Aqmaer Bt Wan Ab. **Dc motor drive using h-bridge**. Bangi: Faculty Of Eletronic And Computer Engineering Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia, 2006.

FRANCISCO, António. **Motores Eléctricos**. Lisboa: ETEP, 2008.

MARQUES, Angelo Eduardo B.; CRUZ, Eduardo Cesar Alves; CHOUERI JÚNIOR, Salomão. **Dispositivos Semicondutores: diodos e transistores**. 12. ed. São Paulo: Érica, 2008.

MICROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MEGGIOLARO, Marco Antônio. **Tutorial em robôs de combate**. 2006. Disponível em: <<http://www.robocore.net/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=923>>. Acesso em: 4 jun. 2013.

MOTA, Carlos Bolli. **Biomecânica: métodos de medição - antropometria**. [2000?]. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/labiomec/biomecanica/metodos_de_medicao_antropometria_cg.ppt>. Acesso em: 06 dez. 2013

NASCIMENTO, João M. A; ALSINA, Pablo J.; MAITELLI, André L. **Simulador computacional para poços de petróleo com método de elevação artificial por bombeio mecânico**. Natal: [s. n], 2005.

RAMOS. Carlos Rodrigues Costa. **Sistema de recuperação da energia de deslizamento aplicado ao aproveitamento da energia das ondas marítimas**. 1997. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~cjr/Mestrado/>. Acesso em: 05 dez. 2013.

RAMOS, João Luiz Almeida de Souza; MEGGIOLARO, Marco Antônio. **Controle de torque de um exoesqueleto atuado por músculos pneumáticos artificiais utilizando sinais eletromiográficos**. Rio de Janeiro: [s. n], 2013.

SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2001.

V & M do Brasil. **Tubos Estruturais Seção Circular, Quadrada e Retangular**. [2000?]. Disponível em: <[http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/41706609C62754558325798100649CF5/\\$File/Catalogo%20de%20Tubos%20Estruturais%202012.pdf](http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/41706609C62754558325798100649CF5/$File/Catalogo%20de%20Tubos%20Estruturais%202012.pdf)>. Acesso em: 19 maio 2014