

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

FERNANDO ROSA DOS SANTOS
LUCIANO KEICHI HIDE GASPAROVIC

ARMADURA FISIOTERAPÊUTICA PARA MEMBROS INFERIORES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

FERNANDO ROSA DOS SANTOS
LUCIANO KEICHI HIDE GASPAROVIC

ARMADURA FISIOTERAPÊUTICA PARA MEMBROS INFERIORES

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. M.Sc. Anderson Levati Amoroso.

CURITIBA
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

FERNANDO ROSA DOS SANTOS
LUCIANO KEICHI HIDE GASPAROVIC

ARMADURA FISIOTERAPÊUTICA PARA MEMBROS INFERIORES

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 06 de dezembro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. M.Sc. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. M.Sc. Simone Massulini Acosta
UTFPR

Prof. Ubiradir Mendes Pinto
UTFPR

Prof. M.Sc. Anderson Levati Amoroso
Orientador – UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

SANTOS, Fernando Rosa dos; GASPAROVIC, Luciano Keichi Hide. **Armadura fisioterapêutica para membros inferiores**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma armadura fisioterapêutica para membros inferiores destinada ao tratamento na recuperação de pacientes para promover a eficácia no tratamento, reduzindo o tempo de fisioterapia. O comportamento biomecânico da armadura desempenha um importante papel na velocidade de recuperação do paciente. Produtos similares existentes no mercado foram utilizados como referência para a concepção do protótipo proposto. Obteve-se um protótipo de uma armadura como uma aplicação da integração da robótica com a fisioterapia.

Palavras-chave: Reabilitação. Órtese. Membros inferiores. Robótica.

ABSTRACT

SANTOS, Fernando Rosa dos; GASPAROVIC, Luciano Keichi Hide. **Powered lower limb orthosis for rehabilitation**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This work presents the development of a prototype of a physiotherapeutic armor for lower limbs intended for the treatment in the recovery of patients to promote the effectiveness in the treatment, reducing the time of physiotherapy. The biomechanical behavior of the armature plays an important role in the speed of recovery of the patient. Similar products on the market were used as reference for the design of the proposed prototype. A prototype of an armature was obtained as an application of the integration of robotics with physiotherapy.

Keywords: Rehabilitation. Orthosis. Lower-limb. Robotics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes de um servomotor CC tipo RC.....	13
Figura 2 - Armadura militar.....	16
Figura 3 - Órtese tipo Genu Arexa.....	17
Figura 4 - Recursos da placa Arduino Nano.....	18
Figura 5 - Recursos da placa Arduino Mega 2560.....	19
Figura 6 - Módulo <i>Bluetooth</i> HC-05.....	20
Figura 7 - Servomotor MG995 Tower Pro 180°.....	21
Figura 8 - Microservomotor MG90S Tower Pro 180°.....	21
Figura 9 - Módulo <i>joystick</i>	22
Figura 10 - LCD.....	22
Figura 11 - Circuito para ajuste de contraste.....	23
Figura 12 - Botões tipo <i>pushbutton</i>	23
Figura 13 - Diagrama esquemático da interface remota.....	24
Figura 14 - Módulo de interface remota.....	25
Figura 15 - Esquema de ligação do protótipo.....	26
Figura 16 - Interface Arduino <i>serial monitor</i>	27
Figura 17 - Mensagem inicial.....	28
Figura 18 - Mensagem de comandos.....	28
Figura 19 - Diagrama de seleção de exercícios.....	29
Figura 20 - Seleção do lado de aplicação do exercício.....	29
Figura 21 - Mensagem de velocidade.....	30
Figura 22- Seleção de velocidades pelo <i>joystick</i>	30
Figura 23 - Mensagem de tempo exercício.....	30
Figura 24 - Mensagens de confirmação.....	31
Figura 25 - Mensagem de confirmação.....	31
Figura 26 - Mensagem de exercício em andamento.....	31
Figura 27 - Mensagem de emergência.....	31
Figura 28 - Diagrama de programação.....	32
Figura 29 - Posição de descanso.....	33
Figura 30 - Ciclos da marcha humana.....	34
Figura 31 - Função andar.....	34
Figura 32 - Função alongar.....	35
Figura 33 - Função alongar quadril.....	35
Figura 34 - Função agachar.....	36

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AVD	Atividade da Vida Diária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISM	<i>Industrial, Scientific, Medical</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	PROBLEMA	8
1.2	OBJETIVOS	9
1.2.1	Objetivo geral	9
1.2.2	Objetivos específicos	9
1.3	JUSTIFICATIVA	9
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	10
1.5	ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	DEFINIÇÕES	11
2.2	MICROCONTROLADORES	12
2.3	SERVOMOTORES	13
2.4	O PADRÃO <i>BLUETOOTH</i>	14
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	16
3.1	DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA	16
3.2	SELEÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS	17
3.2.1	Microcontroladores para interface e acionamento	17
3.2.2	Módulo <i>Bluetooth</i>	19
3.2.3	Servomotores das juntas	20
3.2.4	Dispositivos auxiliares	22
3.3	INTEGRAÇÃO DOS DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS	24
3.3.1	Módulo de interface remota	24
3.3.2	Módulo da armadura	25
3.3.3	Habilitação da comunicação via <i>Bluetooth</i>	26
3.4	PROGRAMAÇÃO	28
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica de órteses e próteses têm direcionado o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa multidisciplinares na área de Automação e Robótica, aplicada a processos de reabilitação (VANRIPER, 1992).

Inúmeras são as fontes de problemas que podem causar uma limitação na locomoção e, independente destas, a recuperação é sempre lenta e requer muita determinação por parte do paciente. Pacientes que precisam de uma mudança radical de dependência ou que sofrem dificuldade de aceitação podem apresentar recusa de ajuda, tornando o tratamento ainda mais lento e um atraso em sua recuperação.

A Pesquisa Nacional de Saúde 2013, desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e publicada em abril de 2015, revela que 3,1% foi a proporção de pessoas que se envolveram em acidentes de trânsito com lesões corporais no Brasil nos últimos doze meses anteriores à pesquisa, e, desses, 47,2% deixaram de realizar atividades habituais, e 15,2% tiveram sequelas ou incapacidades.

1.1 PROBLEMA

Pacientes que apresentam controle parcial ou nenhum tipo de controle sobre os movimentos dos membros inferiores e que já aprenderam a andar, porém apresentam um quadro clínico temporário que os impede e precisam passar por uma reabilitação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de uma armadura fisioterapêutica para membros inferiores em tamanho reduzido, destinada à recuperação de pacientes para promover uma eficácia no tratamento, reduzindo o tempo de fisioterapia.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar um estudo sobre membros inferiores para auxiliar o desenvolvimento da armadura;
- b) Projetar e confeccionar a estrutura mecânica;
- c) Projetar e integrar dispositivos eletrônicos, utilizando Arduino e módulos de interface auxiliares para controle da armadura via *Bluetooth*;
- d) Desenvolver *firmware* para controle e comunicação do protótipo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atender a necessidade de reabilitação dos membros inferiores sem perder a customização com o manequim do paciente, além de permitir a geração das sequências e frequências exigidas no tratamento através de uma operação simples e precisa com a receita médica, interagindo com a interface humana, permitindo a diminuição do tempo de recuperação e o aumento da autoestima.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento do protótipo foram definidas etapas a fim de se alcançar o resultado final deste projeto.

O processo de reabilitação e/ou tratamento possui alguns artefatos mecânicos disponíveis no mercado, sendo estes utilizados para definição do *layout*, estudo dos movimentos de membros inferiores, que somados aos conceitos de fisioterapia auxiliaram o desenvolvimento do *firmware*.

A etapa seguinte foi a seleção e aquisição de materiais para a estrutura mecânica e dispositivos eletrônicos do protótipo. Para viabilizar a aquisição dos materiais, a equipe optou por utilizar equipamentos comerciais, de fácil aquisição e custo baixo.

A última etapa consistiu na integração dos sistemas eletrônicos, mecânicos e implementação do *firmware* no microcontrolador. Foram realizados testes de funcionamento através de comandos enviados pela interface com o usuário.

1.5 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

O trabalho está estruturado como segue.

Capítulo 1 – Introdução: são apresentados o tema, o problema, os objetivos, a justificativa, os procedimentos metodológicos e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo 2 – Fundamentação teórica: são apresentados tópicos que explanam as tecnologias empregadas no projeto.

Capítulo 3 – Desenvolvimento do projeto: neste item serão descritos o desenvolvimento da estrutura mecânica, do circuito eletrônico e do sistema de controle.

Capítulo 4 – Considerações finais: são retomados os objetivos e apontado como foram alcançados por meio do trabalho realizado. Além disto, são sugeridos trabalhos futuros que poderiam ser realizados a partir do estudo realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário a compreensão dos conceitos que envolvem o desenvolvimento de uma armadura fisioterapêutica, as definições usadas; as características de operação e os conceitos e funcionalidades referentes a servomotores, microcontroladores e módulos *Bluetooth*. Esses temas são abordados na sequência deste capítulo.

2.1 DEFINIÇÕES

Auxiliares da mobilidade/locomoção são produtos/equipamentos que visam proporcionar ou melhorar o grau da independência funcional, também conhecida como Atividade da Vida Diária (AVD). Órteses, próteses e outras Ajudas Técnicas (ou Tecnologias Assistivas) são produtos para o mesmo fim. Exemplos:

- Cadeira de rodas, elevador para cadeira de rodas;
- *Stair-trac, stairlift, evacuation chair, scooter, stand in table*;
- Minielevador, elevador eletro-hidráulico em veículos;
- Parapodium;
- Andador, muleta axilar, bengala;
- Veículo motorizado adaptado.

Órtese é “todo aparelho destinado a sustentar todo ou parte do peso do corpo, corrigir deformidades, evitar deformidades, imobilizar ou limitar movimentos de parte ou de todo o membro” (BOCCOLINI, 2000). Próteses são utensílios empregados para substituir alguma região perdida ou mal formada do nosso organismo (CARVALHO, 1999).

2.2 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um circuito integrado capaz de efetuar processos lógicos com extrema rapidez e precisão. A grande vantagem deste dispositivo é a sua possibilidade de programação, o que o torna adaptável à finalidade desejada, e que possibilita seu ajuste de acordo com a tarefa que deverá executar (ASSIS, 2004).

Um microcontrolador se diferencia de um microprocessador em vários aspectos. O mais importante, é a sua funcionalidade. Quanto a um microprocessador, para que ele possa ser usado, outros componentes devem ser adicionados, tais como memória e componentes para receber e enviar dados. Em resumo, isso significa que o microprocessador é o verdadeiro coração do computador. Já o microcontrolador foi projetado para ter tudo isso num só componente. Nenhum outro componente externo é necessário nas aplicações, uma vez que todos os periféricos necessários já estão contidos nele. Assim, tem-se um baixo custo de tempo e espaço na construção de dispositivos (ASSIS, 2004).

Pode-se definir o microcontrolador como um componente eletrônico, que possui uma “inteligência” que pode ser programável. Utilizada no gerenciamento de processos lógicos, esse gerenciamento pode ser entendido como o controle de periféricos, como sensores, relés, resistências, *display* de cristal líquido (LCD), diodo emissor de luz (LED), dentre outros.

O Arduino é um microcontrolador de placa única que permite programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software* (MCROBERTS, 2011).

O Arduino também pode ser estendido utilizando os *shields*, que são placas de circuito contendo outros dispositivos (por exemplo, receptores GPS, LCD, módulos de *Bluetooth* etc.), que se pode simplesmente conectar ao Arduino para se obter funcionalidades adicionais.

2.3 SERVOMOTORES

Um servomotor é um motor de corrente contínua com um sensor de posição ou de velocidade, que permite ao controlador conhecer essas grandezas físicas e assim controlá-las (PAZOS, 2002).

Em muitos casos, esse controlador é um tipo dedicado consistido de um comparador e um amplificador integrado. O controlador principal do sistema envia então, em malha aberta, o sinal de referência, que pode se referir a posição ou a velocidade desejada dependendo do tipo de servomotor. O comparador subtrai o sinal do sensor que é a resposta do motor, dando o sinal de erro, que é amplificado e o motor é alimentado (Figura 1).

Em muitos casos, os servomotores de posição comerciais exigem como entrada de referência um sinal pulsado, onde a largura de pulso é proporcional à posição desejada. Este tipo de sinal é conhecido como sinal modulado por largura de pulso (PWM). O controlador dedicado, que é constituído por um circuito integrado, tem um filtro passa baixa para determinar o valor médio desse sinal, que será proporcional a largura do pulso e, portanto, esse valor médio possui uma amplitude proporcional à posição desejada. A partir daí é comparada com a amplitude do sinal do potenciômetro para determinar o erro.

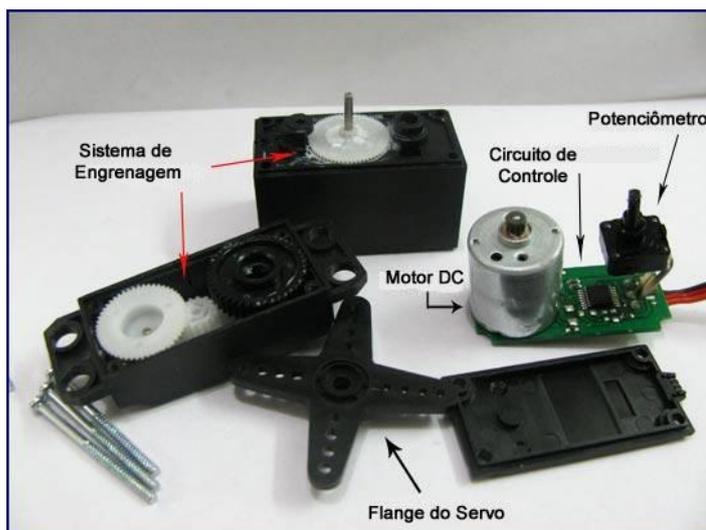


Figura 1 - Partes de um servomotor CC tipo RC
Fonte: Citisystems (2018).

No caso de operação em modo de controle de posicionamento o importante é o servomotor atingir a posição solicitada com a máxima precisão possível (GRAZIA, 2003).

O servomotor é utilizado em aplicações para robótica, sistemas com microcontroladores, aeromodelismo e outras aplicações que requerem um controle preciso dos movimentos, sendo um dispositivo de malha fechada que verifica a posição atual e se move para a posição desejada através do recebimento de um sinal de controle.

2.4 O PADRÃO *BLUETOOTH*

Bluetooth é um padrão de comunicação de curto alcance cujo objetivo é eliminar os cabos nas conexões entre dispositivos eletrônicos, tanto portáteis como fixo. As principais características desta tecnologia são sua confiabilidade, baixo consumo e mínimo custo. Várias das funções das especificações são opcionais, o que permite a diversificação dos produtos (BONATTO; CANTO, 2007).

A arquitetura *Bluetooth* consiste basicamente de dois componentes: um *transceiver* (*hardware*) e uma pilha de protocolos (*software*). Esta arquitetura oferece serviços e funcionalidades básicas que tornam possível a conexão de dispositivos e a troca de uma variedade de tipos de dados entre estes dispositivos (SIQUEIRA, 2006).

Dispositivos *Bluetooth* operam na faixa ISM (*Industrial, Scientific, Medical*) centrada em 2,45 GHz em sua camada física de radiofrequência (RF). Os dispositivos são classificados em três níveis de acordo com a potência e alcance: classe 1 (100 mW, com alcance de até 100 m), classe 2 (2,5 mW e alcance até 10 m) e classe 3 (1 mW e alcance de 1 m, uma variante muito rara). Cada dispositivo é dotado de um número único de 48 bits que serve de identificação.

Por utilizarem radiofrequência, que possuem suas interferências, não se pode considerá-lo um sistema demasiadamente confiável. Por este motivo existem diversos dispositivos de proteção para cada camada do sistema. No cabeçalho dos pacotes da banda base tem-se a utilização de técnicas para correção de erros posteriores (*forward error correction*) e uma comprovação de erro no cabeçalho (*header error*

check) como método de verificação posterior. Também são utilizadas técnicas de comprovação de redundância cíclica ((BONATTO; CANTO, 2007).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA

Foram analisados os tipos de articulações e formas de utilização da mesma, através de um modelo sólido em 3D para um maior entendimento da anatomia e movimentos a serem implementados no protótipo desenvolvido.

Em seguida foi realizado um estudo sobre *layout* e *designs* já desenvolvidos, explanando o que é e como vem sendo difundida no Brasil e no mundo, bem como os benefícios e desvantagens do uso de armaduras, das quais os projetos e arquivos são disponibilizados gratuitamente através da internet em sites especializados em compartilhar esse tipo de conhecimento de forma legalizada, como por exemplo a plataforma *grabcad* (Figura 2).

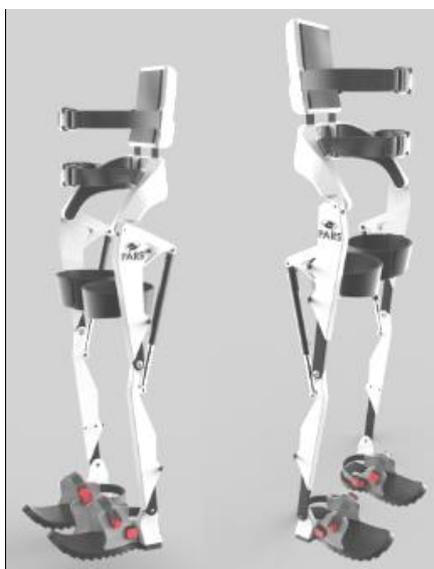


Figura 2 - Armadura militar
Fonte: PARS (2018).

As análises destas armaduras permitiram a visualização completa do protótipo e especificação dos pontos críticos dos projetos: mecânico e eletrônico, como posicionamento dos servo-motores e do microcontrolador e todos os seus periféricos, além de complementar a visualização tridimensional das solicitações dos casos específicos de reabilitação.

Foi realizada uma avaliação, por similaridade, de órteses disponíveis que estão sendo prescritas pelos médicos, como a Genu Arexa – Figura 3. Seu *design* funcional já conquistou vários prêmios internacionais. Com poucos ajustes simples, um ortético pode adaptá-la às necessidades individuais.



Figura 3 - Órtese tipo Genu Arexa
Fonte: Catarin (2017).

A comparação com os equipamento similares auxiliou a definir o posicionamento dos itens de controle como sensores e botões.

A armadura deve ser ajustável a cada paciente, ter um programa composto de modo manual e automático e atender os casos específicos de reabilitação de membros inferiores.

3.2 SELEÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

3.2.1 Microcontroladores para interface e acionamento

O microcontrolador utilizado para o controle do protótipo é o Arduino Nano (Figura 4) e o utilizado para o protótipo é o Arduino Mega 2560 (Figura 5).

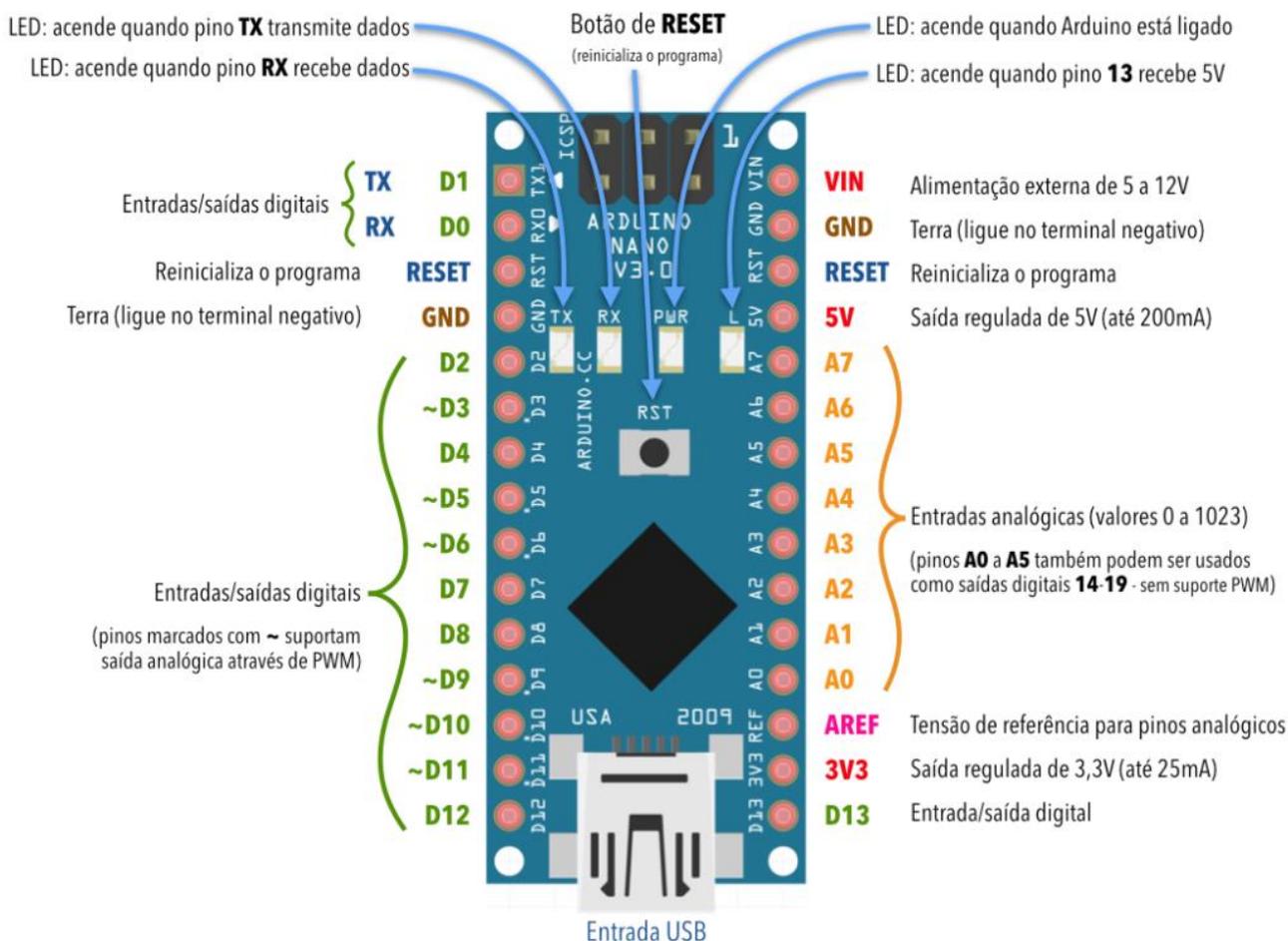


Figura 4 - Recursos da placa Arduino Nano
 Fonte: Eletrônica para artistas (2018).

O Arduino Nano possui dimensões de 43 x 15 mm e uma entrada USB para conexão a um computador para a transferência do código do programa. As saídas de tensão de 3,3V e 5 V, respectivamente nos pinos 3V3 e 5V. As entradas analógicas são os pinos A0 até A7 que podem receber valores entre 0 e 5V, enquanto as entradas digitais D0 a D13 reconhecem valores na faixa de 0V para nível lógico baixo e de 5 V para alto. Os pinos A0 até A5 podem operar também como saídas digitais, enquanto os pinos D3, D5, D6, D9, D10 e D11, sinalizados na placa com um ponto, suportam saída analógica através de sinal PWM (ARDUINO, 2018).

O Arduino Mega 2560 possui dimensões de 101 x 53 mm, uma entrada USB para conexão a um computador para a transferência do código do programa. A alimentação pode ser feita tanto pela USB como por uma fonte de alimentação externa. A placa Arduino MEGA 2560 possui 54 pinos de entradas e saídas digitais que podem ser utilizadas como entrada ou saída. Os pinos operam com tensão de 5 V e podem fornecer ou drenar até 40 mA. Cada pino possui resistor de *pull-up* interno

que pode ser habilitado por *software*. Alguns desses pinos possuem funções especiais tais como comunicação serial - Serial 0 (RX) e 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) e 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) e 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) e 14 (TX). Os pinos 0 e 1 estão conectados aos pinos do ATmega16U2 responsável pela comunicação USB. Os pinos para interrupções externas podem ser configurados para disparo da interrupção tanto na borda de subida ou descida, ou em níveis lógicos alto ou baixo. Os pinos 2 a 13 e 44 a 46 podem ser utilizados como saídas PWM. O sinal PWM possui 8 bits de resolução. (ARDUINO, 2018).

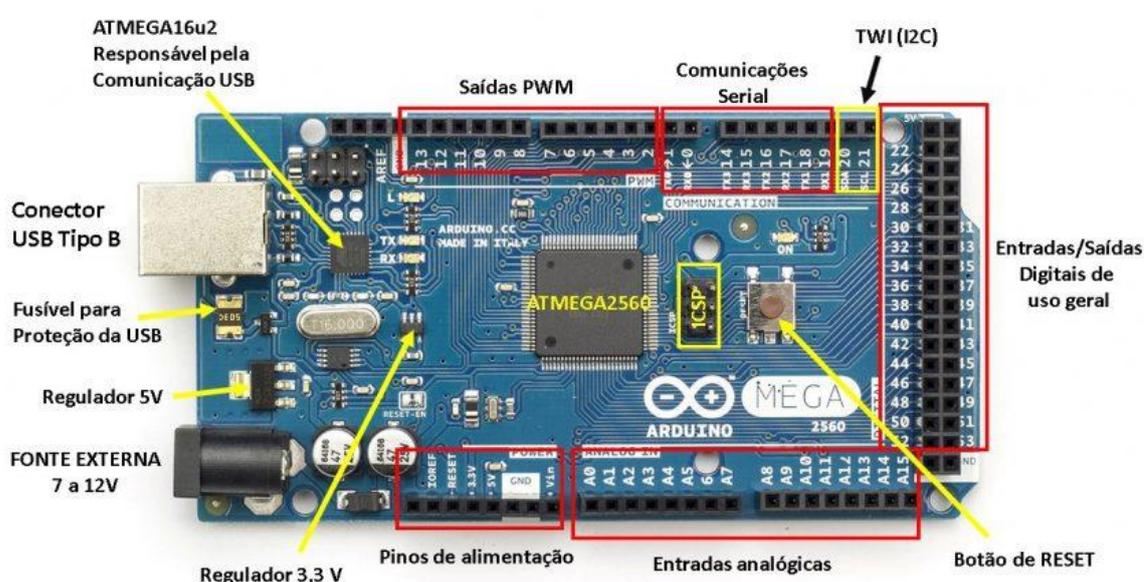


Figura 5 - Recursos da placa Arduino Mega 2560
Fonte: Eletrônica para artistas (2018).

3.2.2 Módulo *Bluetooth*

Para comunicação entre o controle do protótipo e o protótipo foram utilizados dois módulos *Bluetooth* RS232 HC-05. Este módulo suporta tanto o modo mestre (*master*) como o modo escravo (*slave*) por possuir em sua placa um regulador de tensão que pode ser alimentado com tensões de 3,3 a 5 V.

O módulo *Bluetooth* utilizado mostrado na Figura 6 possui seis pinos e são identificados no módulo e consistem nos seguintes: *State*, RX, TX, GND, +5 V e EN.

Os pinos RX e TX são os canais de comunicação do módulo. O RX do módulo deve ser ligado ao TX do Arduino por meio de divisor de tensão, um resistor de 1 k Ω em serie com um de 2,2 k Ω . O TX do módulo é ligado direto ao RX do Arduino.

O pino +5 V que é o pino de alimentação e o GND que é a referência de alimentação, devem ser os mesmos do Arduino. O pino EN é utilizado para habilitar o modo de comandos AT.

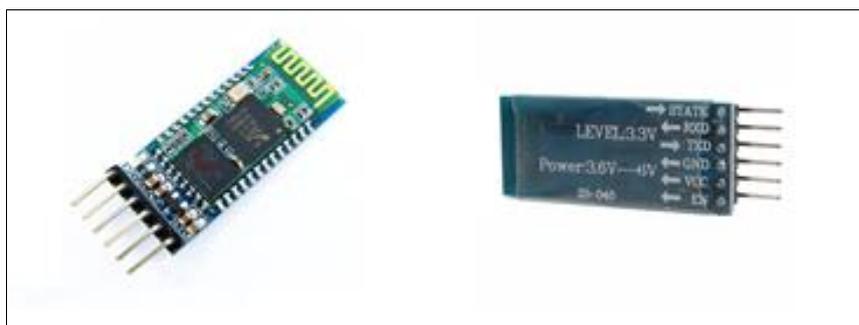


Figura 6 - Módulo *Bluetooth* HC-05
Fonte : Tectotronics (2018).

3.2.3 Servomotores das juntas

Neste trabalho são utilizados os servomotores do modelo MG995 Tower Pro 180°, apresentado na Figura 7, que pesa aproximadamente 6,9 g e oferece um torque máximo de 0,921 N.m alimentado em 4,8V de alimentação até um torque de 1,071 N.m alimentado em 6 V, dimensões: 40 x 19 x 43 mm com um ângulo de movimentação de até 180°.



Figura 7 - Servomotor MG995 Tower Pro 180°
Fonte: Filipeflop (2018).

O modelo Microservomotor MG90S Tower Pro 180°, apresentado na Figura 8, que pesa aproximadamente 13,4 g e oferece um torque máximo de 1,8 kgf.cm em 4,8 V, até um torque de 0,176 N.m alimentado em 6 V, Dimensões: 35,5 x 32,5 x 12 mm com um ângulo de movimentação de até 180° (FILIPEFLOP, 2018).



Figura 8 - Microservomotor MG90S Tower Pro 180°
Fonte : Filipeflop (2018).

Os servomotores possuem três fios, sendo dois para alimentação e outro para o sinal de controle, podendo ser encontrado com a sequência de cores marrom, vermelho e amarelo ou preto, vermelho e branco, sendo que o marrom ou preto é conectado ao pino comum GND, o vermelho ao pino 5 Vcc e o amarelo ou branco é conectado à um pino de saída de sinal digital com PWM.

3.2.4 Dispositivos auxiliares

O módulo *joystick* tem seu princípio de funcionamento através do controle de dois potenciômetros e um *pushbutton* (Figura 9). Possui cinco pinos que são identificados por: +5V: 3,3-5 V, GND, VRx (saída analógica do eixoX), VRy (saída analógica do eixoY), SW (saída digital do eixoZ). Os pinos VRx e VRy são ligados nos pinos analógicos A0 e A1 do Arduino.



Figura 9 - Módulo *joystick*
Fonte: Tectotronics (2018).

Para visualização dos comandos do controle, é utilizado o LCD 16x2 *Winstar* modelo WH1602A (Figura 10).



Figura 10 - LCD
Fonte: Tectotronics (2018).

Os pinos de dados de 0 a 3 não são utilizados, pois o LCD trabalha em modo 4 bits. Para melhor visibilidade do texto, é ajustado um contraste do *display*, conectado no pino 3 o pino deve ser conectado a um potenciômetro de 10 k Ω , conforme a Figura 11.

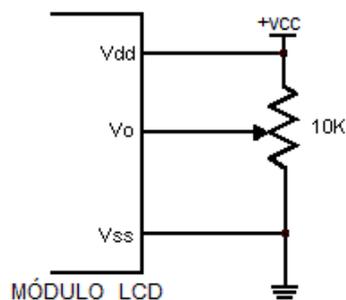


Figura 11 - Circuito para ajuste de contraste
Fonte: Autoria própria (2018).

Para identificação de funcionamento do controle é adicionado um LED que indica quando o circuito é ligado, um para identificação de pareamento de comunicação *Bluetooth* e outro para identificação de *pushbutton* de emergência. Dois botões tipo *pushbutton* são utilizados no comando do controle, um para seleção e outro para emergência (Figura 12), ligados nos pinos 8 e 9 do Arduino respectivamente.



Figura 12 - Botões tipo *pushbutton*
Fonte: Tectotronics (2018).

3.3 INTEGRAÇÃO DOS DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

3.3.1 Módulo de interface remota

Esse sistema consiste em módulos ligados ao Arduino NANO conforme Figura 13, sendo utilizados um módulo *joystick*, um módulo *Bluetooth* RS-232 HC-05, um LCD 16x2, três LEDs, uma chave liga/desliga, um conector fêmea fonte p4, dois *pushbuttons*, uma bateria de 5 V, 600 mAh, resistores de 1 k Ω e 2,2 k Ω e um potenciômetro de 10 k Ω .

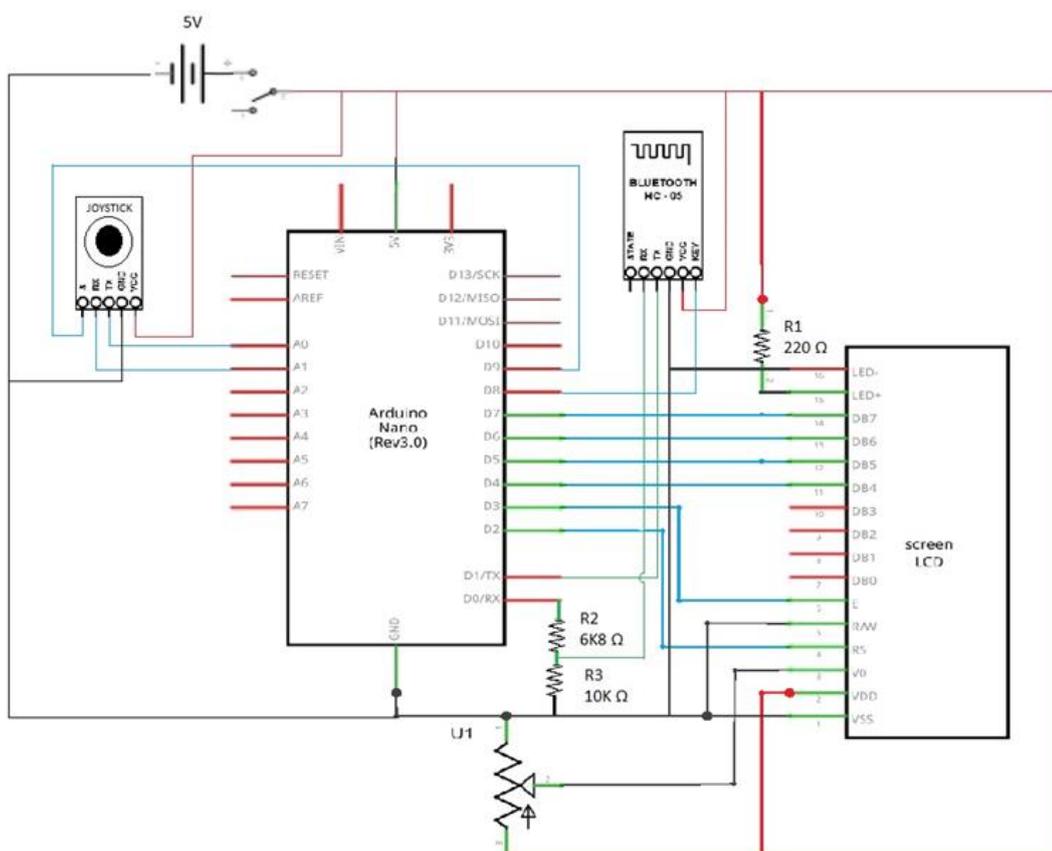


Figura 13 - Diagrama esquemático da interface remota
Fonte: Autoria própria (2018).



Figura 14 - Módulo de interface remota
Fonte: Autoria própria (2018).

3.3.2 Módulo da armadura

O circuito consiste em módulos ligados ao Arduino Mega, conforme Figura 15. Foram utilizados quatro servomotores MG995 Tower Pro 180°, 2 microservomotores MG90S Tower Pro 180°, *Bluetooth* RS-232 HC-05, chave liga/desliga, fonte de 500 W 5 V-12 V e *pushbutton*.

O esquema de ligação do *Bluetooth* RS-232 HC-05 é igual ao do controle do protótipo. Para ligação dos servomotores são utilizados pinos com a configuração PWM. Cada pino é seguido de uma sigla que identifica o correspondente do servomotor acionado, sendo eles: BE (bacia esquerdo), BD (bacia direito), JE (joelho esquerdo), JD (joelho direito), TE (tornozelo esquerdo) e TD (tornozelo direito). Um *pushbutton* é ligado ao pino 10 para acionamento de emergência.

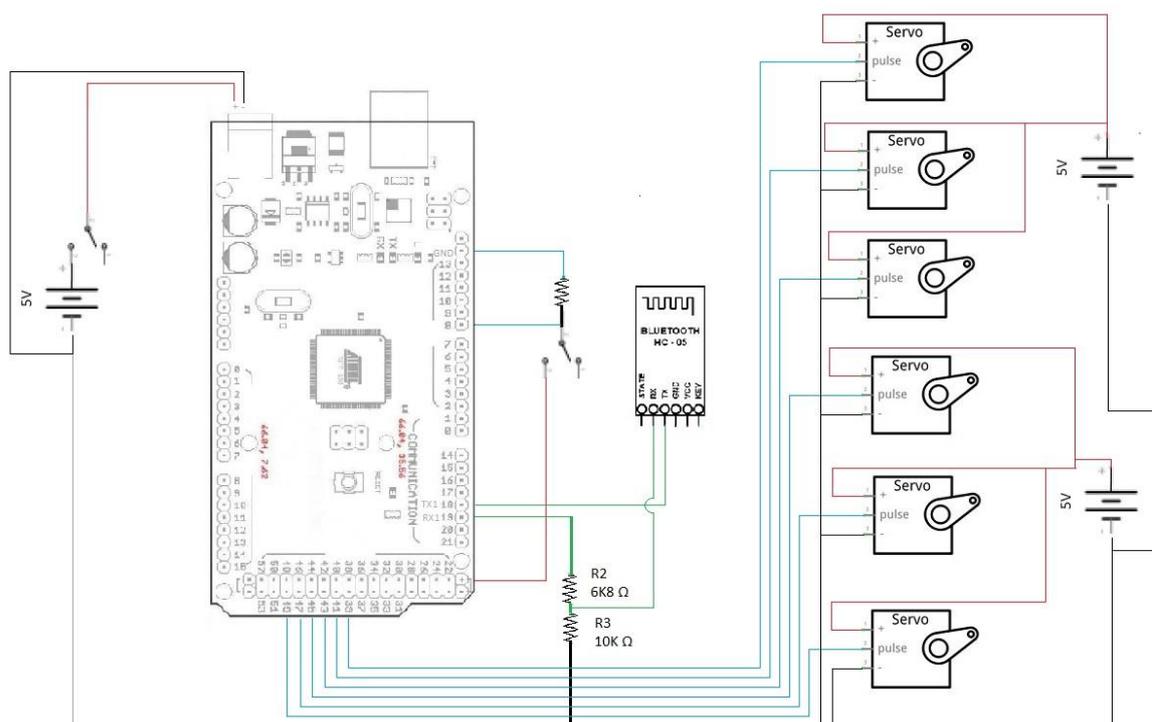


Figura 15 - Esquema de ligação do protótipo
 Fonte: Autoria própria (2018).

3.3.3 Habilitação da comunicação via *Bluetooth*

Após realizar as ligações dos componentes nas placas microcontroladoras Arduino Mega e Arduino Nano, é realizada a comunicação entre o protótipo e o controle.

O primeiro passo é carregar a sequência de códigos, entrar no *serial monitor* da interface do programa Arduino (Figura 16) e selecionar a velocidade de 115.200 bps e o comando de fim de linha para *ambos NL & CR*. Essa velocidade indica a taxa de transmissão (*baud rate*), uma medida de velocidade para comunicação, que indica o número de bits transmitidos por segundo. Estas altas taxas de transmissão são utilizadas para comunicação de dispositivos quando estes estão próximos. O módulo *Bluetooth* CONTROLE_PROTOTIPO atua como mestre.

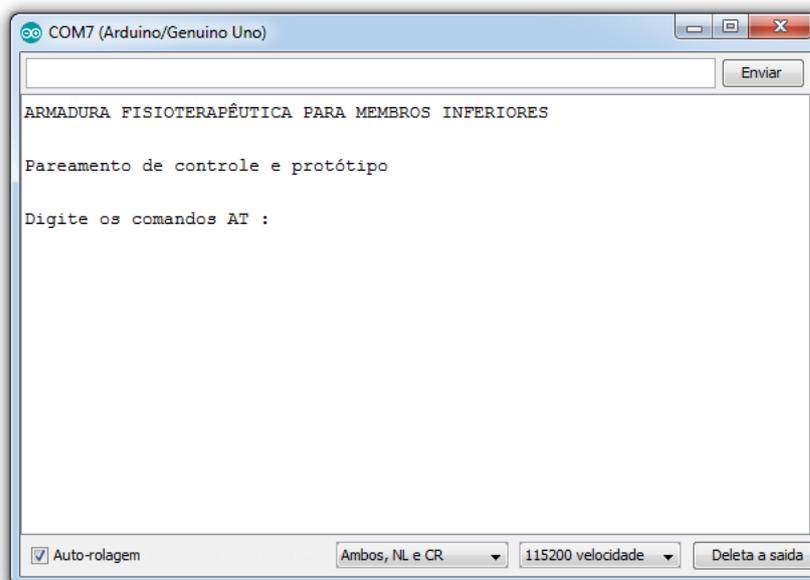


Figura 16 - Interface Arduino *serial monitor*
Fonte: Autoria própria (2018).

Depois são realizados os comandos:

- **AT+ORGL**: reseta o módulo para a configuração padrão;
- **AT+RMAAD**: remove dispositivos anteriormente pareados;
- **AT+ROLE=1**: define o modo de operação do módulo do CONTROLE_PROTOTIPO como mestre (*master*);
- **AT+RESET**: reseta o do módulo após a definição do modo de operação;
- **AT+CMODE=1**: permite a conexão a qualquer endereço;
- **AT+INQM=0,1,10**: modo de varredura: padrão, procura por um dispositivo ou para a varredura após 10 s;
- **AT+PSWD=TCC**: define a senha do módulo mestre (*master*), que deve ser a mesma do módulo escravo (*slave*);
- **AT+INIT**: inicializa o perfil para transmissão/recepção;
- **AT+INQ**: inicializa a varredura por dispositivos *Bluetooth*. Essa varredura irá mostrar os dispositivos detectados, no caso, tem-se o dispositivo PROTOTIPO que atuará como escravo (*slave*).

Cada comando realizado deve retornar a mensagem “OK”.

Com esses dados (2017;3;118190) para efetuar o pareamento, são retirados os “;” e substituídos por “,” ficando assim: 2017,3,118190. É digitado o comando AT+PAIR=<endereço>,<timeout>:

AT+PAIR=2017,3,118190,10

O *serial monitor* retornará “OK”, por fim, é digitado o comando AT+LINK<endereço>, que vai conectar os dois dispositivos. O módulo do CONTROLE_PROTOTIPO piscará mais lentamente, enquanto o módulo do PROTOTIPO deverá parar de piscar.

Esta série de comandos é efetuada apenas uma vez, já que, quando configurado o CRONTROLE_PROTOTIPO em modo mestre, ele se conectará automaticamente ao PROTOTIPO escravo toda vez que for energizado.

3.4 PROGRAMAÇÃO

Após realizada essa etapa de pareamento é iniciado o programa para o controle do protótipo. O CONTROLE_PROTOTIPO mostra em sua interface a mensagem “ARMADURA FISIOTERAPEUTICA PARA MEMBROS INFERIORES” (Figura 17), que é a primeira informação disponibilizada para o usuário. Essa mensagem aparece somente se o CONTROLE_PROTOTIPO estiver pareado com o PROTOTIPO.



Figura 17 - Mensagem inicial
Fonte: Aatoria própria (2018).

Após essa inicialização, o LCD mostra seis opções de exercícios 1-ANDAR, 2-ALONGAR, 3-BACIA, 4-JOELHO, 5-TORNOZELO, 6-BACIA+TORNOZELO, conforme Figura 18.



Figura 18 - Mensagem de comandos
Fonte: Aatoria própria (2018).

A seleção das opções é realizada de acordo com diagrama da Figura 19, e movimentando o *joystick* e confirmando pelo *pushbutton* preto esquerdo.

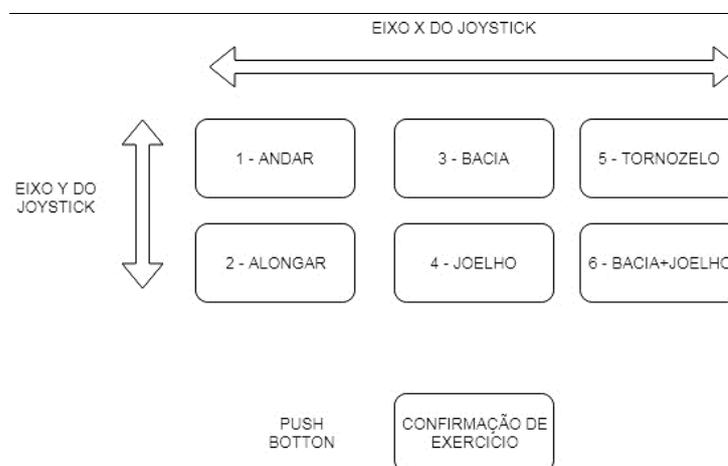


Figura 19 - Diagrama de seleção de exercícios
Fonte: Autoria própria (2018).

O valor selecionado é guardado em uma memória do tipo *char* para posteriormente ser enviado ao PROTOTIPO.

Nos exercícios 3 – BACIA, 4 – JOELHO, 5 – TORNOZELO poderá ser definido o lado de aplicação do exercício (Figura 20).



Figura 20 - Seleção do lado de aplicação do exercício
Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida, é selecionada a velocidade de realização do exercício. São definidos seis níveis de velocidades, 1-MUITO BAIXA, 2-BAIXA, 3-MÉDIA, 4-MÉDIA ALTA, 5 - ALTA e 6-CONTROLE MANUAL (valor definido pelo *joystick*), conforme Figura 21.



Figura 21 - Mensagem de velocidade
Fonte: Aatoria própria (2018).

A seleção das opções é realizada de acordo com diagrama da Figura 22, e movimentação de seleção pelo *joystick* e sua confirmação pelo *pushbutton* preto esquerdo.

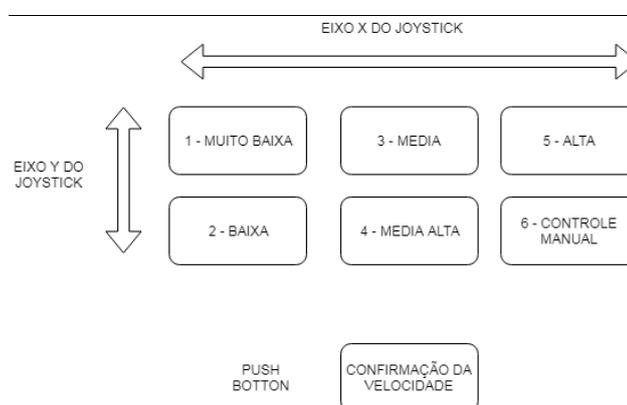


Figura 22- Seleção de velocidades pelo joystick
Fonte: Aatoria própria (2018).

O valor selecionado é guardado em uma memória do tipo *char* para posteriormente ser enviado ao PROTOTIPO. O último item para seleção é o tempo de exercício. Esse tempo é selecionado pelo *joystick* e confirmado pelo *pushbutton* preto esquerdo. O tempo pode ser selecionado de 1 a 60 minutos (Figura 23). O valor selecionado é guardado em uma memória do tipo *char* para posteriormente ser enviado ao PROTOTIPO.



Figura 23 - Mensagem de tempo exercício
Fonte: Aatoria própria (2018).

Por fim, é enviada uma mensagem com os dados do exercício a ser realizado e solicitada a confirmação (Figura 24).



Figura 24 - Mensagens de confirmação
Fonte: Autoria própria (2018).

O valor selecionado é guardado em uma memória do tipo *char* para posteriormente ser enviado ao PROTOTIPO. A confirmação é efetuada pelo *pushbutton* preto esquerdo (Figura 25). Para reiniciar a seleção das opções deve ser pressionado o *pushbutton* preto direito.



Figura 25 - Mensagem de confirmação
Fonte: Autoria própria (2018).

Os dados registrados são enviados para o PROTOTIPO via comunicação *Bluetooth*.



Figura 26 - Mensagem de exercício em andamento
Fonte: Autoria própria (2018).

Caso haja alguma emergência ou o usuário queira parar o processo, pode ser acionado um *pushbutton* vermelho que é definido como emergência do controle, conforme mostrado na Figura 27. No PROTOTIPO há um *pushbutton* com a mesma função.



Figura 27 - Mensagem de emergência
Fonte: Autoria própria (2018).

A programação do controle segue o esquema do diagrama mostrado na Figura 28.

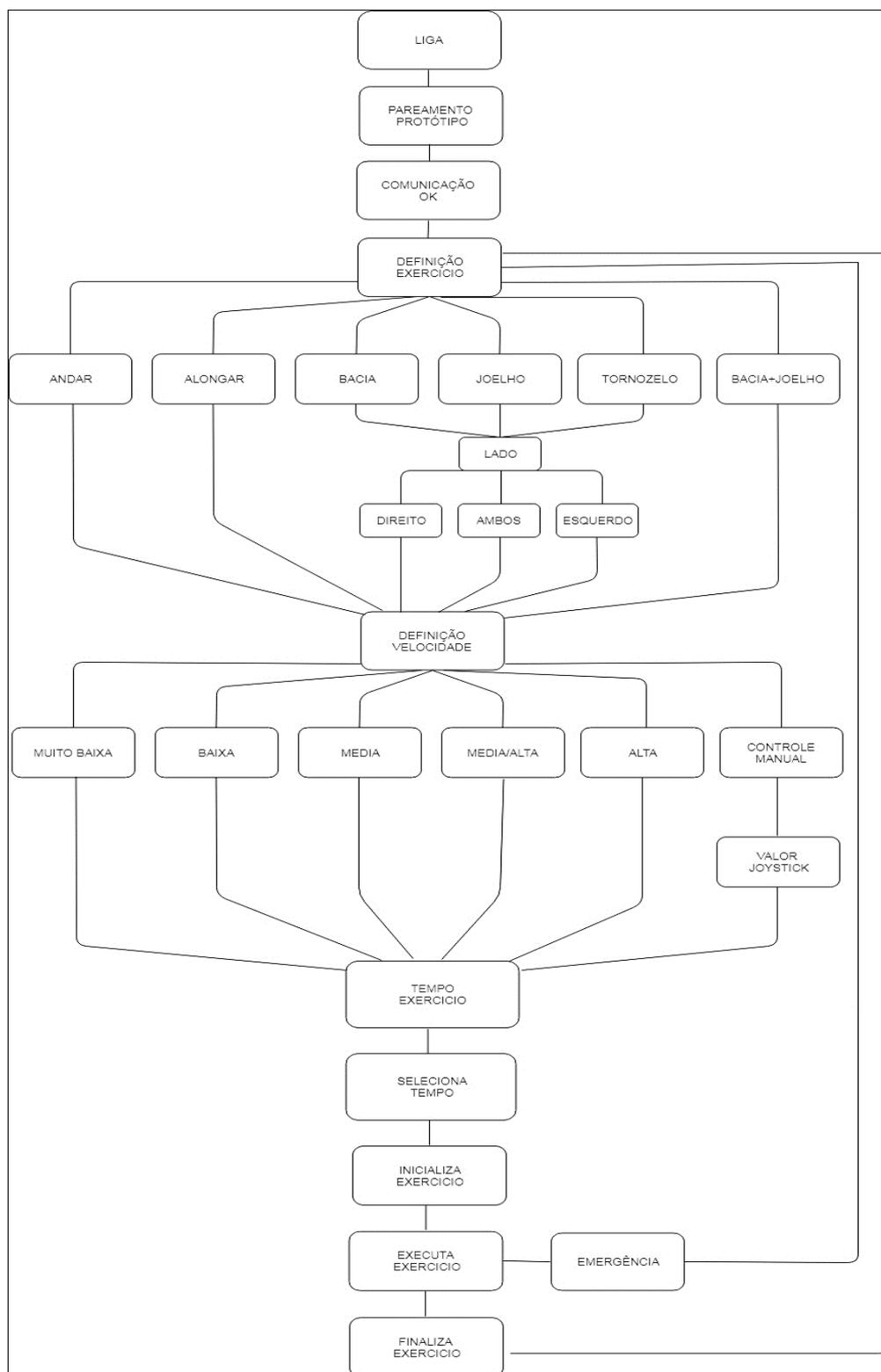


Figura 28 - Diagrama de programação
 Fonte: Autoria própria (2018).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O primeiro passo da programação do PROTOTIPO consiste em zerar a posição dos servomotores. Essa posição zero foi definida como sendo a posição de descanso, onde todos os servomecanismos estão em uma posição adequada para o posicionamento do usuário/paciente (Figura 29).



Figura 29 - Posição de descanso
Fonte: Autoria própria (2018).

Com os dados recebidos pelo CONTROLE_PROTOTIPO é iniciada a rotina de programação do PROTOTIPO. Cada tipo de exercício é dividido em uma função. A velocidade definida pelo CONTROLE_PROTOTIPO define o intervalo de tempo que cada servomotor tem na rotina de execução de movimentos entre um grau de atuação e outro.

Sempre que o tempo de exercício definido pelo CONTROLE_PROTOTIPO for finalizado, o PROTOTIPO finaliza a função e retorna para a posição de descanso lentamente, e aguarda uma nova rotina.

Quando o botão de emergência é acionado, o PROTOTIPO finaliza a função e aguarda a resposta do controle para retornar a posição de descanso.

A função ANDAR é baseada no movimento de marcha, segundo FILIPPO (2006), a marcha humana normal, ou deambulação é descrita como uma série de movimentos alternantes rítmicos, das extremidades e do tronco que determinam um deslocamento da pelve.

O ciclo da marcha se inicia quando um calcanhar entra em contato com o solo (golpe calcanear) e termina até o momento em que o mesmo calcanhar toca o solo novamente. Dividido em duas fases: a fase de apoio e a fase de balanço (Figura 30).

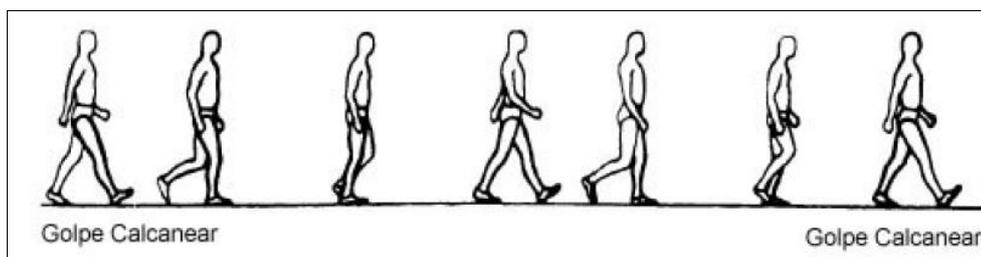


Figura 30 - Ciclos da marcha humana
Fonte: FILIPPO (2006).

A rotina de programação consiste em alternância de movimentos entre os servomotores BD e BE e leve alternância entre os servomotores JD e JE e os TD com TE, como mostra a Figura 31.



Figura 31 - Função andar
Fonte: Autoria própria (2018).

A função ALONGAR consiste em uma sequência de seis movimentos, divididos em três etapas. Nesse modo a velocidade é desconsiderada e o tempo é marcado em segundos. A primeira etapa é a extensão de quadril, onde uma das pernas fica para frente deixando o joelho flexionado em um ângulo de 90° . O joelho que fica para trás fica em um ângulo de 105° e o pé em um ângulo de 160° , conforme mostrado na Figura 32. O protótipo fica nessa posição por um período de dez a trinta segundos definido pelo usuário e depois se alterna a posição das pernas.

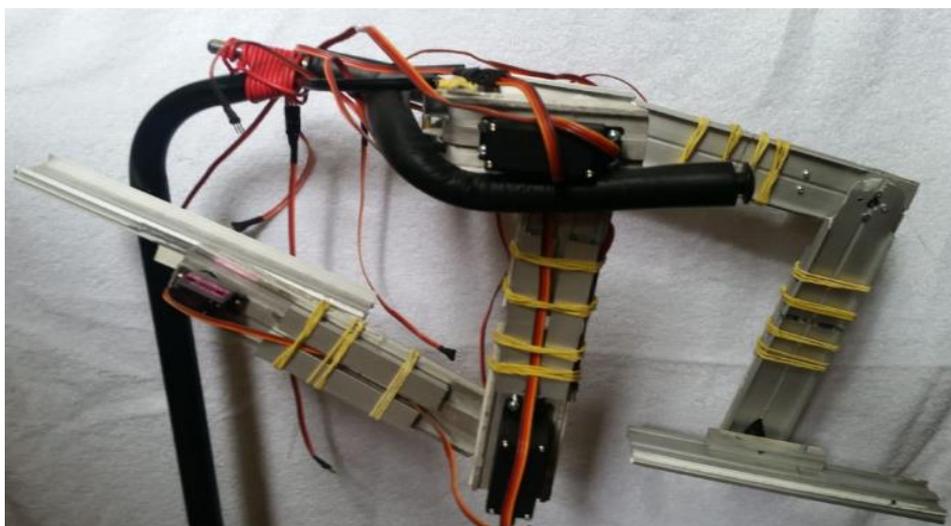


Figura 32 - Função alongar
Fonte: Autoria própria (2018).

A segunda etapa é o alongamento total da perna (Figura 33). Nesse movimento os servomotores BD e BE ficam em posição 90° alternados em determinado intervalo de tempo.

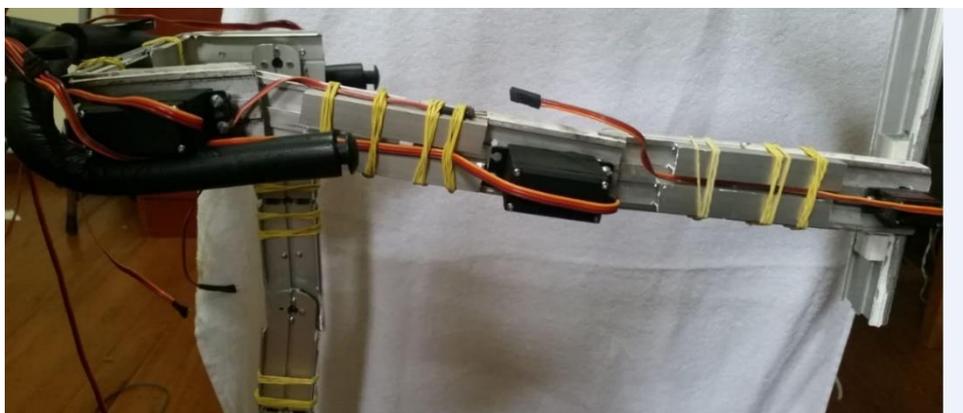


Figura 33 - Função alongar quadril
Fonte: Autoria própria (2018).

A última etapa da função alongar é a posição de agachamento, onde os servomotores BD e BT ficam em ângulo de 45° , os servomotores JD e JE 45° e TD e TE 30° , conforme Figura 34.

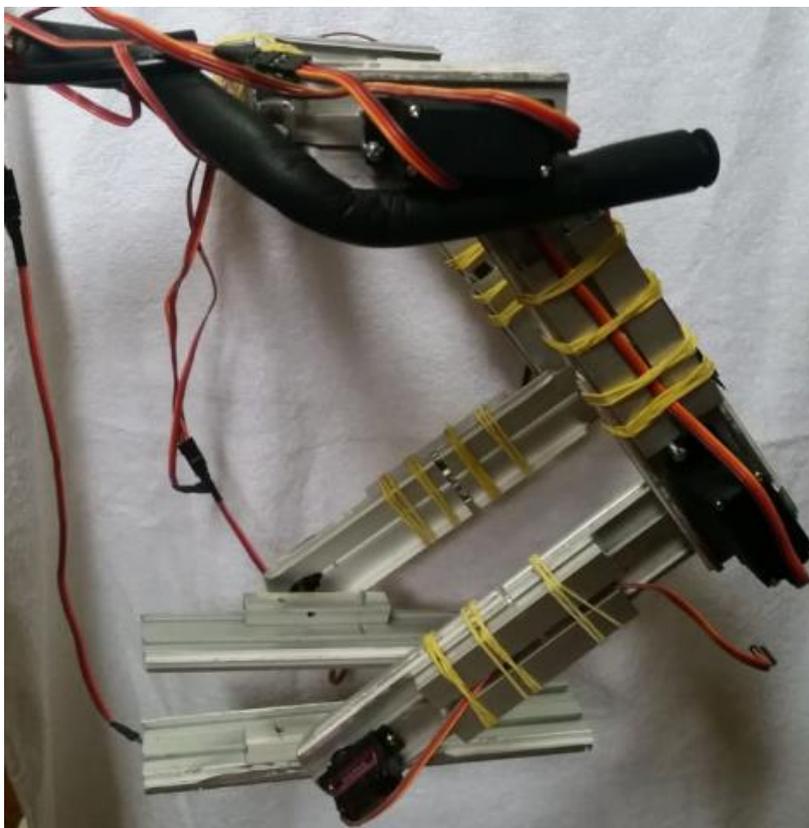


Figura 34 - Função agachar
Fonte: Autoria própria (2018).

As funções BACIA, JOELHO, e TORNOZELO consistem em movimentos de repetição onde esses membros são flexionados e alongados. Para a função JOELHO é realizado o movimento de flexão da coxa em um ângulo de 45° , sendo que os servomotores JD e JE são acionados nessa função. Para as funções BACIA e TORNOZELO são realizados movimentos de 30° nos dois sentidos totalizando uma angulação de 60° , sendo que os pares servomotores (BE e BD) e (TE e TD) são acionados nessas funções.

A função BACIA+JOELHO consiste em um grau de movimentação maior em relação as funções JOELHO e BACIA. Primeiro é acionado servomotor da região pélvica, seguido da movimentação de servomotor do joelho e finalizando com a movimentação de servomotor da região pélvica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo desenvolvido aqui iniciado necessita de mais pesquisas para avaliar materiais como a fibra de carbono e novos compósitos, e aprimorar o *software* desenvolvido. Para futuras melhorias, recomendamos o desenvolvimento de aplicativo via celular para controle do protótipo, no qual pode-se ter um monitoramento remoto por um profissional na área médica.

Com o avanço tecnológico os processos de recuperação terapêutica serão aprimorados. O que se deve alcançar ainda é um custo para que as pessoas que vierem a necessitar possam, independentemente de sua classe social, fazer uso da tecnologia assistiva.

A fisioterapia é fundamental importância na reabilitação do paciente. Com um tratamento adequado é possível alcançar independência e o retorno à vida social e profissional. Perder parte de um movimento ou sofrer uma seqüela profunda e até mesmo uma amputação nos dias de hoje, não implica em perda de uma vida ativa, e sim no recomeço de uma vida nova, com uma nova rotina, tão normal quanto a vida de uma pessoa com ambos os membros inferiores.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **What is Arduino**. 2018. Disponível em < <https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

ASSIS, P. D. K. B. **Microcontrolador**. Universidade Presidente Antônio Carlos, 2004.

CATARIN. **Órteses: membros inferiores**. 2018. Disponível em: <<http://www.centrocatarinense.com/categoria-orteses/membros-inferiores/>>. Acesso em: 01 out. 2017.

CITYSYSTEMS. **Automação Industrial**. 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ELETRÔNICA PARA ARTISTAS. **Arduino 2: configuração do Arduino Nano**. 2018. Disponível em: <<http://eletronicaparaartistas.com.br/arduino-2-configuracao-do-arduino-nano/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

FILIFELOP. **Servomotores**. 2018. Disponível em <<https://www.filifelep.com/prouto/micro-servo-mg90s-towerpro/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

FILIPPO, R. M. **Uma Contribuição da automação para o desenvolvimento de órteses ativas para membros inferiores**. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), 2006.

MICROBERTS, M. **Arduino básico**. 1 ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda 2011.

PAZOS, FERNANDO. **Automação de sistemas & robótica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Axcel Book do Brasil Editora, 2002.

SIQUEIRA, T. S. **Bluetooth – características, protocolos e funcionamento**. Universidade Estadual de Campinas, 2006.

TECNOTRONICS. **Módulo Bluetooth HC-05 RS232 para Arduino master slave**. 2018. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/modulo-Bluetooth-hc-05-rs232-arduino.html>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

VANRIPER. **The kinematics for an anthropomorphic robot hand.** Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY. 235 f.,1992.