

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE PRÓTESE SENSITIVA DE MEMBRO INFERIOR

Aryanne Gabrielle Soares de Brito, Leonardo Augusto Casillo

Resumo: O número de pessoas diagnosticadas com doenças dermatológicas aliadas a problemas neurais está aumentando a cada dia. Algumas dessas doenças afetam o sistema sensível e muscular, prejudicando a capacidade de movimentação do paciente, além da perda da sensibilidade a dor e variações de temperatura. No município de Mossoró, a Hanseníase possui caráter endêmico, e muitos pacientes desenvolvem uma lesão no membro inferior chamada de pé caído, fazendo com que seja necessário o uso de uma prótese de apoio. Além disso, a perda da sensibilidade faz com que esses pacientes se machuquem sem perceber, prejudicando o tratamento e provocando a formação de úlceras. Dessa forma, este artigo possui como objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de prótese sensitiva a ser utilizada por estes pacientes que, além de realizar o apoio do pé, irá realizar o monitoramento de variações de pressão e temperatura ao redor do membro inferior do paciente, com a finalidade de emitir alertas em casos de variações apresentadas fora da faixa normal de funcionamento do equipamento.

Palavras-chave: Hanseníase. Prótese. Sensibilidade. Automação.

1. INTRODUÇÃO

A inserção da tecnologia nos mais diversos ambientes já é uma realidade no século XXI, e a mesma está presente cada vez com maior frequência na rotina da grande maioria dos seres humanos. A automação tem grande papel na inserção das tecnologias, pois a partir dos processos automatizados, torna-se possível o aumento da produtividade, redução de erros e acidentes ocasionados por falha humana [1]. Infelizmente, algumas barreiras ainda precisam ser quebradas para que a tecnologia possa atingir todo o seu potencial e provocar mudanças cada vez mais benéficas para a sociedade. Atualmente, a área onde são encontradas as maiores barreiras para inserção de inovações tecnológicas, é a medicina, devido ao protecionismo médico que dificulta a inserção de novas tecnologias que possam provocar mudanças nesse setor e o alto custo dos processos e exames médicos que fazem uso de equipamentos tecnológicos, restringindo o acesso às minorias privilegiadas da sociedade [2].

Felizmente, alguns setores da medicina buscam, cada vez mais, o contato com os produtores de tecnologia e, procuram produzir alternativas para diagnóstico, controle e cuidados com os pacientes baseadas em soluções tecnológicas. Na área da dermatologia, pode-se observar um número crescente de pessoas diagnosticadas com doenças que afetam o sistema sensível e muscular, reduzindo ou impossibilitando a movimentação da área afetada e causando a perda da sensibilidade à dor e às variações de temperaturas decorrentes do meio. Entre essas doenças, encontra-se a Hanseníase, que possui caráter endêmico no município de Mossoró [3].

Os pacientes portadores desta patologia podem ser acometidos de uma lesão no membro inferior, causando a perda da sensibilidade no mesmo e enfraquecimento da musculatura [4], causando uma lesão popularmente conhecida como “Pé caído”, que pode ser visualizada na Figura 1. Para correção e redução

de danos, se faz uso de uma prótese de apoio [5], para que o paciente reobtenha a capacidade de andar. Apesar disso, ainda que o indivíduo utilize este dispositivo, pode ocorrer o aparecimento de feridas e queimaduras, visto que com a perda da funcionalidade de seus nervos sensores, este pode machucar-se sem notar.

Figura 1 - Lesão denominada de “Pé Caído” e a utilização de prótese corretiva.



(Site dos pés, 2018)

Atualmente, apesar dos avançados estudos para realizar melhorias no bem-estar de indivíduos que possuam reduções na mobilidade, assim como adaptação do espaço urbano para adequar-se a estes, poucas pesquisas foram realizadas para desenvolvimento de tecnologias alternativas para o tratamento de pacientes diagnosticados com a Hanseníase. A criação de próteses mais confortáveis e que se adaptem à forma física do indivíduo e de neuropróteses, que promovam a contração dos músculos responsáveis pela movimentação do pé, como a *Walkaide* criada pelo Instituto de Prótese e Órtese [6], que pode ser vista na Figura 2, já é realidade no Brasil, mas não podem ser adquiridas por todos os indivíduos acometidos por esta enfermidade, visto que possuem alto valor no mercado.

Figura 2 - *Walkaide*



(Instituto de Prótese e Órtese)

Visando estes fatores e o grande número de pessoas diagnosticadas com esta lesão no município de Mossoró-RN e cidades circunvizinhas [3], buscou-se uma forma de desenvolver uma prótese com menor

custo de produção, que possa ser adquirida com maior facilidade por aqueles que necessitam dela, e que, devido à perda da sensibilidade às variações ambientais e espaciais por parte destes pacientes, possa emitir alertas destas variações, permitindo aceleração no tratamento de eventuais acidentes ocorridos.

Para realização deste projeto, foi idealizada a produção de uma órtese com formato baseado nos modelos mais comuns e já existentes no mercado, porém adaptando a mesma para uma realidade que possa atender o maior número possível de pacientes, reduzindo os seus custos.

Para complementar a órtese, atendendo às expectativas propostas, foi idealizado um dispositivo que utiliza a tecnologia Arduino aliada à transmissão de dados para a emissão de alertas para o indivíduo, ativando assim um equipamento capaz de realizar a percepção do ambiente em que se encontra e atuando como os nervos responsáveis pela sensibilidade dos membros do paciente que a utiliza.

Até o momento de produção deste artigo, não foram encontradas referências acadêmicas e científicas de instituições e pesquisadores solo que tenham realizado a produção de próteses e/ou órteses com a mesma finalidade buscada nesta pesquisa. Desta forma, este artigo possui base teórica de acordo com as necessidades apresentadas pelo indivíduo portador da enfermidade e necessitará de testes para comprovação de sua funcionalidade.

No decorrer da seção de desenvolvimento deste artigo, todas as etapas de escolha dos equipamentos, produção, testes e resultados estarão descritas, nesta ordem. Os materiais utilizados na produção deste protótipo serão descritos na seção de Referencial Teórico. Todas as etapas de produção da mesma serão mais bem explicadas na seção Materiais e Métodos. A descrição dos resultados apresentados após a etapa de testes do protótipo estará na seção Resultados e Discussões.

2. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do protótipo de prótese sensível contou com três etapas principais, sendo a primeira delas a pesquisa acerca da enfermidade a ser tratada e das dificuldades enfrentadas pelos indivíduos acometidos desta doença.

A segunda etapa deu-se com a pesquisa acerca dos materiais a serem utilizados no controle sensitivo do equipamento, no sistema de comunicação da prótese com o usuário e formas alternativas para produção da órtese, visto que o custo de aquisição de uma prótese comum no mercado atual seria inviável para a finalidade deste projeto.

A terceira etapa do desenvolvimento do objeto de pesquisa deste trabalho foi a aquisição dos equipamentos necessários, produção da órtese, utilizando o método de impressão 3D e, finalmente, a junção de todos os materiais e montagem da prótese. A terceira etapa será mais bem explicada na seção “Materiais e Métodos” deste artigo.

2.1. Referencial teórico

Nesta seção é exposta a fundamentação teórica deste artigo, com explicações acerca da doença que causa o problema a ser solucionado e as especificações técnicas dos equipamentos escolhidos para a montagem do protótipo. A melhor explanação acerca destes pontos presente nesta seção irá fazer com que a leitura da metodologia utilizada e dos resultados apresentados na produção deste protótipo possa ser mais bem compreendida.

2.1.1. Hanseníase

A Doença de Hansen ou Hanseníase é uma doença infectocontagiosa causada pela bactéria *Mycobacterium leprae* [7] que possui caráter endêmico no município de Mossoró-RN e regiões circunvizinhas. A doença possui um tropismo por células cutâneas e nervosas periféricas, ou seja, o

crescimento das células infectadas é direcionado para os tecidos mencionados, afetando principalmente os membros. A presença deste bacilo no organismo humano produz graves complicações devido a lesão neural com comprometimento sensitivo e motor. Além disso, a doença tem como característica a cicatrização lenta e baixa regeneração de tecidos, fazendo com que as feridas obtidas por estes pacientes demorem a fechar e necessitem de tratamento mais avançado a fim de evitar maiores complicações.

No membro inferior, a lesão no tronco tibial posterior leva à perda de sensibilidade da região plantar e a lesão do nervo fibular comum pode provocar a paralisia da musculatura dorsiflexora e eversora do pé impossibilitando a sua elevação, produzindo o "pé caído" [8].

A lesão e consequente imobilização do pé, trás como consequência secundária, a formação de úlceras plantares que necessitam da força de fricção e trauma contínuo para sua formação. Essas úlceras surgem devido à dificuldade inerente ao indivíduo de perceber a formação de machucados decorrentes de choques ou queimaduras. Devido à dificuldade de cicatrização e a baixa percepção das feridas provocadas, o tratamento das mesmas é postergado, piorando o ferimento e gerando problemas maiores e mais difíceis de obter tratamento.

2.1.2. Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento *open-source* de fácil utilização, que apresenta entradas capazes de fazer leitura de variáveis de um ambiente externo através de sensores e tratar estas informações e devolvê-las ao ambiente externo por meio de atuadores [9]. A placa apresenta um microprocessador capaz de executar instruções para os diferentes tipos de aplicações, realizando o que se define como Computação Física.

Desenvolvido pela *Ivrea Interaction Design Institute*, com o objetivo de ser uma plataforma de rápida prototipagem para estudantes iniciantes em eletrônica e programação, o Arduino apresenta uma linguagem de programação própria, que faz uso de um ambiente integrado de desenvolvimento (IDE – *Integrated Development Environment*).

O Arduino designa um tipo de placa de prototipagem e, como tal, apresenta diversas subclasses para que possa se adequar ao maior número possível de necessidades. As variações vão desde o seu tamanho, quantidade de pinos de entrada e saída, capacidade de processamento e armazenamento, além de características específicas, como espaço para adição de cartão de memória, conexão com outros dispositivos da mesma linha ou de linhas similares, entre outros.

Para o projeto em estudo neste artigo, foi escolhido utilizar o modelo Uno do Arduino REV3. Este modelo, classificado como uma das placas mais simples entre os diversos modelos de Arduino [9], utiliza o microcontrolador ATmega328P, que possui memória flash de 32KB, trabalha com tensão de saída de 5V e dispõe de 14 pinos de entrada e saída digitais, sendo seis deles pinos de modulação de pulso, além de seis pinos de entrada analógicos. O modelo escolhido para utilização neste projeto pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Arduino Uno REV3



(Arduino.cc)

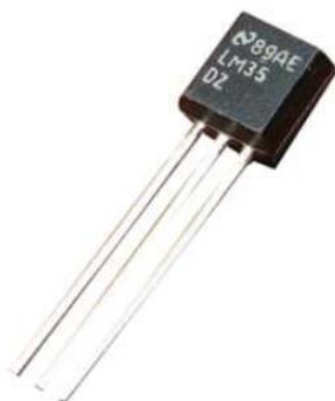
Este modelo foi escolhido pela facilidade de acesso, interface física mais conhecida e, consequentemente, mais simples para manipulação, além do baixo custo de aquisição. Em modelos futuros deste protótipo, outros modelos de Arduino podem ser utilizados, visando principalmente explorar a área de tecnologia vestível.

2.1.3. Sensor de temperatura

Uma das finalidades do uso da órtese desenvolvida nesse projeto é a verificação de variações de temperatura no ambiente que circunda o membro do paciente. Dessa forma, é necessária a utilização de um sensor que monitore a temperatura e emita alertas ao paciente em caso de ocorrência de alguma variação brusca, que pode caracterizar o aparecimento de alguma lesão causada por queimadura.

Para realizar essa função, foi escolhido utilizar o modelo de sensor LM35. O mesmo é um circuito eletrônico sensor de temperatura que realiza medições em graus centígrados. Ele possui faixa de trabalho entre -55° Celsius a +150° Celsius, com precisão de aproximadamente 0,5° C [10]. Este dispositivo possui uma saída de tensão analógica e, de acordo com a tensão de saída demonstrada, pode-se encontrar a temperatura do local onde o sensor se encontra. O sensor utilizado pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Sensor de Temperatura LM35



(MakerLab Electronics)

É um instrumento bastante preciso, e possui baixo custo, sendo, por este motivo, um dos principais sensores utilizados para esta finalidade em projetos com eletrônica no Brasil. Estas razões também foram determinantes na escolha deste dispositivo para este projeto. Outros tipos de sensores e módulos podem

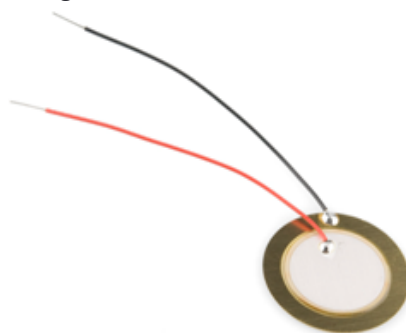
ser utilizados em futuras versões deste projeto. A forma de utilização deste dispositivo poderá ser mais bem explicada na seção “Materiais e métodos” deste artigo.

2.1.4. Sensor de pressão

A medição das variações de pressão exercidas sobre o membro do paciente compõe a segunda etapa do projeto e para a realização da mesma, se torna necessária a utilização de um sensor que capte as leituras de pressão e compare as mesmas com valores de referência previamente calibrados no sistema, emitindo alertas em caso de variações fora da faixa de trabalho normal.

Para este projeto, foi escolhida a utilização de sensores piezo elétricos, conforme o modelo mostrado na Figura 5. Esse tipo de sensor funciona através da medição de piezo eletricidade [11], que designa a carga elétrica acumulada em alguns sólidos em resposta a estresse mecânico.

Figura 5 – Sensor Piezoelétrico



(SparkFun Electronics)

Os valores obtidos pela leitura do sensor podem ser calibrados de acordo com o peso do usuário do sistema e as diferentes formas de pressão exercidas pelo corpo. O funcionamento deste dispositivo e a forma de calibragem do sistema serão mais bem explicados na seção “Materiais e métodos” deste artigo.

2.2. Materiais e métodos

Para produção do protótipo, após realização da pesquisa acerca de todos os equipamentos a serem utilizados, seria necessária apenas a união de todos os dispositivos a fim de realizar então os testes de funcionalidade da órtese. Nesta seção do artigo serão apresentadas as etapas da produção do protótipo proposto, bem como a calibragem do sistema e os primeiros testes realizados com a primeira versão.

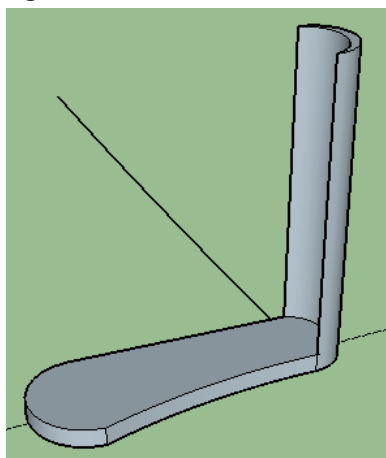
2.2.1. Impressão 3D

Para que o projeto tivesse custo menor do que a aquisição de uma prótese no mercado atual, todas as etapas de produção precisam ser simplificadas e buscar formas de reduzir o seu custo. Visando estes fatores, a impressão 3D surge como uma alternativa, visto que, devido ao surgimento de novos materiais para realizar a impressão e a grande variedade de modelos de impressoras deste segmento, os custos de impressão foram significativamente reduzidos.

Na etapa de desenvolvimento antes da impressão, foi escolhido um modelo tipo calha, visto ser o modelo mais comum presente no mercado atualmente. O desenho do projeto foi feito com o auxílio do software SketchUp, utilizando medidas da tabela universal de calçados, a fim de proporcionar maior fidelidade ao objetivo do projeto. Na primeira etapa de desenvolvimento deste protótipo, optou-se por realizar a impressão de uma prótese de tamanho reduzido, com o objetivo de realizar os testes iniciais de

forma mais simples e necessitando de menor tempo e custo de produção. O desenho inicial do projeto pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Desenho inicial da órtese



(Autoria Própria)

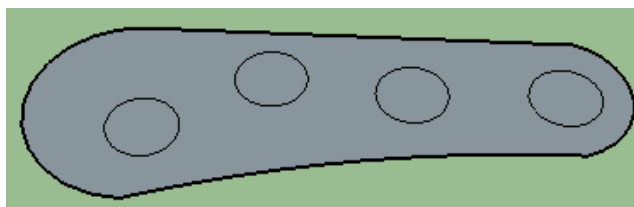
2.2.2. Montagem do sistema de controle e sensibilidade

Todos os sensores escolhidos para montagem deste projeto funcionam conectados às entradas analógicas e, por esse motivo, o Arduino UNO apresenta uma limitação quanto à capacidade de conexão, visto que possui apenas seis portas analógicas. Uma das possíveis soluções para este problema seria a utilização de um multiplexador, expandindo assim a capacidade de conexão analógica da placa de prototipagem.

A fim de evitar este contratempo e visando apenas o desenvolvimento inicial deste projeto, a escolha da quantidade de sensores utilizados foi compatível com a quantidade de portas analógicas do modelo escolhido de Arduino. Dessa forma, decidiu-se pelo uso de quatro sensores piezoelétricos e dois sensores de temperatura LM35, visto que a captação de variação de pressão pode ser mais variável na parte inferior da sola da prótese, enquanto a temperatura tende a se manter relativamente semelhante em todo o entorno do pé do paciente.

A distribuição dos sensores piezo elétricos buscou abranger os principais pontos de pressão do pé, com a finalidade de obter os valores de variação de pressão com maior precisão. Os pontos de instalação dos sensores podem ser observados na Figura 7 que mostra o esquema desenhado no projeto.

Figura 7 – Esquema da distribuição dos sensores piezo elétricos na sola da prótese

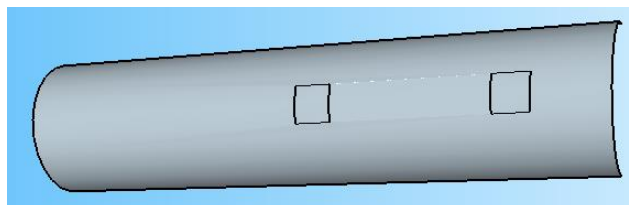


(Autoria Própria)

O sensor de temperatura LM35 foi fixado na parte externa da calha de apoio da perna, devido ao seu formato, evitando machucar o paciente que utilizar esta prótese, e também se observando o fato de que é mais provável que o mesmo obtenha os valores corretos de variação de temperatura se o mesmo não estiver em contato com a pele do paciente. O ponto de instalação do sensor de temperatura pode ser

observado conforme Figura 8. Os pontos de valores recebidos são adimensionais, variando entre 0 e 1023, fazendo com que a temperatura registrada possa ser obtida através de um sistema de calibração próprio disponibilizado pelo fabricante do sensor, que associa a temperatura em graus Celsius ao intervalo de funcionamento. Dessa forma, o intervalo de -55°C , registrando tensão de 0V, a $+150^{\circ}\text{C}$, onde se registra a tensão de 5V, são distribuídos em 1024 posições, em intervalos de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

Figura 8 – Esquema de distribuição do sensor LM35 na calha da prótese



(Autoria Própria)

2.3. Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos durante a produção deste protótipo, após avaliação de todos os parâmetros especificados na seção de metodologia. Os resultados deste artigo incluem a impressão do modelo inicial da prótese, fixação dos sensores utilizados de acordo com os locais definidos na seção anterior, ligação dos sensores ao sistema de controle, testes de calibragem dos sensores de acordo com parâmetros estabelecidos nos testes iniciais, também explicados nesta seção, e explanação acerca da programação do sistema.

2.3.1 Realização da impressão da prótese utilizando impressora 3D

Após o desenho finalizado, o projeto foi impresso e os acessórios de segurança foram afixados, dando início à etapa de montagem e calibragem do sistema de controle. A avaliação do conforto promovido com a utilização do protótipo inicial não foi suficiente para atender a todos os públicos, sendo necessária uma avaliação de cada caso para promover também conforto e segurança ao usuário. Para fins de praticidade na montagem da primeira versão, foi decidido realizar a impressão da prótese em menor escala, facilitando a instalação dos sensores e a etapa inicial de testes. A Figura 9 mostra a primeira versão deste protótipo já impresso, antes da fixação do sistema de controle.

Figura 9 - Primeira versão do protótipo em menor escala



(Autoria Própria)

2.3.2 Fixação dos sensores na prótese

Após a definição dos locais a serem instalados os sensores e finalizada a impressão do protótipo inicial, os sensores foram fixados e conectados às suas respectivas entradas analógicas no Arduino. A prótese com todos os sensores fixados pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 – Fotografia dos sensores



(Autoria Própria)

Para o alarme, foi utilizado um LED (*Light Emitting Diode*), que seria ativado apenas quando um dos parâmetros de limite de variação de temperatura e pressão fosse atingido. A ativação do LED tem como finalidade, indicar para o usuário a ocorrência de uma modificação que poderá comprometer o bem estar físico do usuário. A montagem de todos os equipamentos do sistema, junto à plataforma Arduino pode ser vista conforme a Figura 11.

Figura 11 – Protótipo inicial completo



(Autoria Própria)

2.3.3. Realização dos testes iniciais

Com a finalidade de evitar a realização dos testes iniciais com pacientes em potencial, foi utilizada uma boneca com características externas semelhantes a um ser humano com aproximadamente 1 metro de altura e pesando 1,2kg. A boneca utilizando o protótipo completo pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Fotografia da boneca utilizada nos testes iniciais com o protótipo desenvolvido



(Autoria Própria)

A prótese foi fixada no pé da boneca e foram obtidos os valores para cada um dos sensores avaliando três situações diferentes para a variação de pressão e duas situações diferentes para a variação de temperatura. Os valores de variação de pressão podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de variação de pressão

	1	2	3	4
Livre	200	200	200	200
Tensionado	335	332	368	377
Super Tensionado	570	440	479	589

Nota: Os valores de variação são dados em Volts.

Os valores obtidos com a leitura dos piezos puderam mostrar o limite de calibragem para o peso da boneca utilizada para os testes. A leitura dos sensores de temperatura se deu de forma semelhante, separadamente, e os valores obtidos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de variação de temperatura

	1	2
Ambiente	30,70	30,79
Aquecido	54,74	55,72

Nota: Os valores obtidos estão em graus Célsius.

Os valores obtidos com a leitura dos sensores de temperatura foram calibrados de acordo com a temperatura ambiente da cidade onde os testes foram realizados e a variação limite foi definida como 10 graus acima da temperatura ambiente.

Os sensores se mostraram eficientes para a realização dos testes, apresentando as variações em um breve espaço de tempo e com uma boa sensibilidade às diferentes temperaturas e pressões. A quantidade de sensores e a distribuição dos mesmos podem ser variadas em projetos futuros.

2.3.4. Programação dos sensores

Para a programação do sistema, cada sensor foi controlado de forma separada a fim de que pudesse ser observada em qual sensor a variação ocorreu. Em caso de variações bruscas de temperatura ou pressão, o LED indicador acende, para que o usuário fique ciente da situação.

Os testes de calibração nos sensores piezoelétricos realizados na seção anterior tiveram a finalidade de definir o valor limitante de variação de tensão para o qual o sensor iria enviar o sinal de alerta para o LED. O valor limitante calibrado para o protótipo inicial foi de 400 mV, visto que acima desse valor, já era observado que o sensor já se encontrava no estado super tensionado. A programação do sistema pode ser observada conforme Figura 13.

Figura 13 – Programação do sistema de controle do protótipo

```
const int analogInPin1 = A0;
const int digitalPin1 = 2;
int sensorValue1 = 0;

const int analogInPin2 = A1;
const int digitalPin2 = 3;
int sensorValue2 = 0;

const int analogInPin3 = A2;
const int digitalPin3 = 4;
int sensorValue3 = 0;

const int analogInPin4 = A3;
const int digitalPin4 = 5;
int sensorValue4 = 0;

const int LM351 = A4;
float temperatur1;

const int LM352 = A5;
float temperatura2;

void setup() {
  Serial.begin(1200);
  pinMode(digitalPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void loop() {
  sensorValue1 = analogRead(analogInPin1);
  if(sensorValue1>400){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }
  sensorValue2 = analogRead(analogInPin2);
  if(sensorValue2>400){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }
  sensorValue3 = analogRead(analogInPin3);
  if(sensorValue3>400){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }
  sensorValue4 = analogRead(analogInPin4);
  if(sensorValue4>400){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }

  temperatur1 = (float(analogRead(LM351))*5/(1023))/0.01;
  delay(2000);
  if(temperatur1>45){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }

  temperatura2 = (float(analogRead(LM352))*5/(1023))/0.01;
  delay(2000);
  if(temperatura2>45){
    digitalWrite(8,HIGH);
  }
}
```

(Autoria Própria)

3. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos durante a pesquisa, desenvolvimento e produção deste protótipo, pode-se observar que o projeto pode ser considerado promissor e, com a continuidade dos testes e realização de estudos de casos com pacientes reais, é possível que este protótipo venha a ser utilizado por pessoas que realmente necessitem desse sistema.

O projeto possui grande importância na área médica e tecnológica, visto que não foram encontradas pesquisas que buscassem o mesmo objetivo deste artigo. Além disso, visando a situação encontrada no município onde o estudo foi realizado e a grande incidência da enfermidade no local, caso o protótipo possa ser desenvolvido com valor acessível a estes pacientes ou através da possibilidade de parcerias com instituições interessadas, o mesmo pode vir a oferecer melhor qualidade de vida aos usuários que realmente necessitam dele. O uso deste equipamento pode também, em longo prazo, diminuir a necessidade de tratamento de úlceras causadas pelo atraso no tratamento de ferimentos gerados por atrito ou queimaduras, reduzindo com isso os valores gastos com efeitos gerados por esta patologia.

Para projetos futuros, a quantidade dos sensores utilizados pode ser aumentada, garantindo maior cobertura e precisão no funcionamento do protótipo. Além disso, pode-se avaliar a troca da placa de prototipagem por alguma mais simples e de menor custo e tamanho, porém com a mesma capacidade de processamento. Em estágio avançado desta pesquisa, a comunicação wireless deste equipamento também pode trazer valiosos resultados, visto que o usuário não irá depender unicamente da visualização de um LED para identificar uma variação no funcionamento do protótipo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAYER, Fernando Mariano; ECKHARDT, Moacir; MACHADO, Renato. **Automação de Sistemas**. 4. Ed. Santa Maria - RS: Rede E-tec Brasil, 2011. 100 p. Disponível em: <<https://goo.gl/rkVK4w>>. Acesso em: 17 mar. 2018.
- [2] KAWAMURA, Lili K. **Tecnologia e saúde nas diferentes perspectivas de entidades associativas de médicos**. Rev. adm. empres., São Paulo, v. 27, n. 2, p. 48-55, 1987. Disponível em: <<https://goo.gl/7cp9tD>>. Acesso em 12 mar. 2018.
- [3] DIAS, Márcia Célia Freitas de Souza; DIAS, Gutemberg Henrique; NOBRE, Maurício Lisboa. **Distribuição espacial da hanseníase no município de Mossoró/RN, utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG**. An Bras Dermatol., Brasil, n. 80, p. 289-294, jul. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abd/v80s3/3v80a05.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- [4] LESÕES Neurológicas na Hanseníase. Disponível em: <http://www.uff.br/tudosobrelepra/lesoes_neurológicas_na_hanseníase.htm>. Acesso em: 12 mar. 2018.
- [5] SITE dos Pés: Calha Afo Flexível (AC-100) - Ortho Pauher. Disponível em: <<https://www.sitedospes.com.br/calha-afo-flexivel-ac-100-orthopauher/>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- [6] INSTITUTO de Prótese e Órtese - Próteses de alta tecnologia: Walkaide TM. Disponível em: <<http://ipobrasil.com.br/Hightech.aspx>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- [7] World Health Organization. Leprosy: Fact sheet. 2018.
- [8] FANTINI, Bruno de Carvalho. **Hanseníase**. Disponível em: <<http://www.medicinanet.com.br/conteudos/revisoes/1388/hanseníase.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2018.
- [9] ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- [10] LM35 – O sensor de Temperatura mais Popular. Disponível em: <<http://blog.novaeletronica.com.br/lm35-o-sensor-de-temperatura-mais-popular/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- [11] TUTORIAL: como utilizar o elemento piezo com Arduino. Disponível em: <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-como-utilizar-o-piezo-element-com-arduino>>. Acesso em: 25 jan. 2018.