Sistema Multiseletor de Resíduos Sólidos Recicláveis



Adalberto Maria Gomes Filho[1]; Allan Ferrari[1]; Fabiano Thomazi[1]; Jaçanã Francisco Schneider[1]; Joel Tadeu Pereira[1]

[1] Centro Universitário UNIFACEAR

RESUMO

A separação e descarte correto dos resíduos sólidos urbanos é um assunto frequentemente abordado em leis e programas de incentivo, voltados para a conscientização da população, que visa incentivar as pessoas separar e descartar corretamente seus próprios resíduos. Tendo em vista a automatização deste processo, este trabalho objetiva a elaboração de um protótipo capaz de selecionar e destinar corretamente os resíduos sólidos urbanos secos, tais como: vidro, papel, plástico e metal, para seus devidos recipientes pré-estabelecidos por cores. Para isto, são apresentados conceitos e pesquisas referentes aos resíduos mencionados a priori, bem como características destes materiais nos grupos dos cerâmicos, polímeros, metais e compósitos. Também são apresentados os sensores utilizados para a identificação dos resíduos, em conjunto com a parte mecânica responsável pela realização do descarte.

Palavras chave: Protótipo Seletor, Resíduos Sólidos Urbanos, Reciclagem

ABSTRACT

Proper separation and disposal of urban solid waste is an issue addressed in population awareness laws and incentive programs aimed at getting each person to separate and properly dispose of their own waste. In order to automate this process, the objective of this work is the elaboration of a prototype capable of correctly selecting and directing the dry urban solid waste, such as: glass, paper, plastic and metal, to its own containers pre-established by color. For this, concepts and research on the aforementioned wastes are presented, as well as intrinsic characteristics of these materials in the groups of ceramics, polymers, metals and composites. The sensors used to identify them are also presented, along with the mechanical part responsible for performing the disposal.

Key Words: Prototype Selector, Urban Solid Waste, Recycling

1 INTRODUÇÃO

Segundo pesquisas realizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012), Ribeiro (2014) e pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

especiais (ABRELPE, 2016), a população brasileira possui pouca conscientização em relação ao descarte correto dos próprios resíduos.

Aproximadamente 52% dos brasileiros ainda não realiza a separação adequada do lixo que produz. Apesar de haver programas de incentivo e leis vigentes, como por exemplo os programas Lixo Que Não é Lixo (Curitiba - PR), Separe e Não Pare (São Paulo - SP), a Lei Municipal Complementar N°952 (Santos – SP) e a Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010; segundo a ABRELPE (2016) os índices de descarte e reciclagem permanecem estagnados em todo o país.

Por tal motivo, o presente trabalho traz uma nova concepção da separação automática de lixo, tendo como propósito o desenvolvimento de um sistema multi seletor de resíduos sólidos recicláveis. O protótipo em questão é capaz de identificar e separar estes resíduos, dividindo-os em metal, vidro, plástico e papel. Para isto, utiliza-se sensores capazes de reconhecer as diferentes características dos materiais. O protótipo foi desenvolvido para ser instalado em residências, escritórios, áreas comuns de universidades, condomínios e ambientes públicos.

1.1 Objetivo

- Realizar pesquisas de bibliografias relacionadas ao tema proposto.
- Pesquisar o funcionamento de protótipos similares.
- Pesquisar sensores capazes de identificar os materiais propostos.
- Estudar as características distintas de cada material.
- Estudar propostas mecânicas para todo o sistema.
- Desenvolver sistema mecânico para separação dos materiais.
- Desenvolver placa de circuito impressa contendo todas as funções necessárias de identificação e seleção dos materiais.
- Unir parte mecânica e eletrônica e desenvolver o protótipo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o intuito de realizar um estudo aprofundado sobre resíduos sólidos urbanos, houve a necessidade de buscar pesquisas aplicadas e experimentais relacionadas aos materiais recicláveis, às características dos materiais descartados e aos sensores capazes de identificar tais características. Também foi necessário colocar em prática um estudo referente a atuadores, o qual proporcionou a elaboração de toda a parte mecânica do projeto. De maneira sucinta serão elucidados estes conceitos.

2.1 Resíduos sólidos urbanos e materiais recicláveis

O Art. 3 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), descreve resíduos sólidos como sendo “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, [...] nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água”. A cláusula VII do mesmo artigo, também define reciclagem como sendo um processo de transformação envolvendo alterações das propriedades físicas, químicas, ou físico-químicas visando novos produtos ou a transformação em insumos, sendo materiais recicláveis passiveis de transformação, tais como: papel, plástico, vidro, alumínio, dentre outros. Para os devidos fins deste trabalho foram considerados os materiais sólidos recicláveis secos.

2.2 Características dos materiais

Segundo os autores Willian e Callister (2002, p. 4), os materiais sólidos são agrupados basicamente em três classificações: metais, cerâmicos e polímeros e adicionalmente um outro grupo importante para engenharia: os compósitos. Estes materiais possuem características distintas uns dos outros, destacando-se a condutividade elétrica e o comportamento dielétrico. Sobre estas, serão apresentadas a seguir algumas considerações feitas pelos autores Willian e Callister (2002, p. 416, 435 - 436) e Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 124 - 125).

- Condução elétrica - A primeira característica elétrica importante de um material sólido é a sua capacidade em transmitir corrente elétrica. A natureza elétrica do material, dada através da condutividade elétrica σ, é um indicativo da facilidade que o material tem de conduzir corrente elétrica. É também o inverso da resistividade, conforme mostra a equação 1.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{1}$$

Esta característica permite realizar a identificação dos metais, que de acordo com Willian e Callister (2002, p.4) e Shackelford (2011, p. 3), são materiais com combinações metálicas e que possuem elétrons não localizados, o que, consequentemente, os torna ótimos condutores de eletricidade.

- Comportamento dielétrico - A ausência de grandes quantidades de elétrons livres na última camada de alguns materiais não metálicos os torna maus condutores de eletricidade. A estes materiais é dado o nome isolante elétrico. Um material dielétrico combina esta característica com a de separação das entidades eletricamente carregadas com polaridade negativa e positiva em nível atômico ou molecular. O resultado destas interações de dipolos com os campos elétricos os tornam usuais em capacitores.

Cada material quando preenche um espaço entre placas de um capacitor faz com que a capacitância seja alterada em relação a um fator k, também conhecido como ϵ_r, que é a constante dielétrica do material isolante. Por definição, a constante do vácuo é igual à unidade, ou seja, k = 1. Essa constante é alterada para cada tipo de material.

A permissividade nos permite identificar os materiais cerâmicos e polímeros, devido a diferença da constante dielétrica. Willian e Callister (2002, p. 4) define que os materiais cerâmicos são compostos "entre os elementos metálicos e não metálicos" sendo que "a grande variedade de materiais que se enquadra nesta classificação [...] são compostos por minerais argilosos, cimento e vidro". Já os polímeros possuem sua química baseada em carbono, hidrogênio e outros elementos não metálicos. A partir de uma comparação das constantes dielétricas dos materiais especificados pelos autores Young e Freedman (2009, p. 117), Willian e Callister (2002, p. 437) e Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 125), é possível classificá-los da seguinte forma:

a) Vidro – Constante dielétrica entre 5 a 10;

b) Papel – Constante dielétrica na ordem de 3,5;

c) Plástico – Constantes dielétricas entre 2,3 e 2,6;

Visto a diferença de valores da constante dielétrica é factível realizar o reconhecimento de cada material específico por meio de sensores. Vale ser ressaltado que a categoria dos compósitos não será utilizada neste contexto, uma vez que em um compósito há a junção de características relevantes dos cerâmicos, polímeros e metais, a fim de combiná-las e criar outra geração de material, não sendo possível realizar a distinção do mesmo com a topologia empregada (ASHBY e DAVID, 2007, p. 286, WILLIAN E CALLISTER, 2002, p. 4 e p. 359).

2.3 Sensores e atuadores

Para o reconhecimento do metal foi utilizado o sensor de proximidade indutivo, que é um dispositivo capaz de detectar materiais metálicos (aço, ferro, alumínio, etc.) sem contato físico com o material. Seu princípio de funcionamento se baseia na geração de um campo eletromagnético em uma bobina ressonante instalada na face do sensor (SENSE,

2002, p. 1). A bobina está inclusa em um circuito oscilador que gera um sinal senoidal. Quando um material metálico se aproxima deste campo, ocorrem correntes de Foulcault em sua superfície, diminuindo a intensidade do sinal gerado pelo oscilador. Essa redução é reconhecida pelo circuito comparador, que converte essa informação em um sinal bem definido (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005, p. 40).

Para a identificação do papel, plástico e vidro são utilizados sensores capacitivos, dispositivos capazes de detectar a presença de qualquer tipo de material que possua constante dielétrica maior que 1 tais como madeira, plásticos, papelão, vidro, etc. (ROSÁRIO, 2009, p. 72 e CAPELLI, 2012, p. 150). Quando o material se aproxima do sensor, ocorre uma alteração no dielétrico que aumenta a capacitância interna do dispositivo no oscilador, ocasionando um aumento da sua amplitude o que faz com que o sensor comute para nível lógico alto (FRANCHI E CAMARGO, 2009, p. 77).

Após a compreensão das características dos materiais e da identificação de dispositivos capazes de reconhecer as distinções de cada material, definiu-se o microcontrolador e os atuadores capazes de separar os resíduos de forma organizada. O microcontrolador escolhido para realizar todo o controle do protótipo foi o MSP430G2553. Este dispositivo possui tensão de alimentação entre 1,8 Vdc a 3,6 Vdc, utiliza uma arquitetura RISC de 16 bits, memória flash de 16 kilobytes, memória RAM de 512 Bytes, tem disponível 20 pinos e possui uma interface universal de comunicação serial (TEXAS INSTRUMENTS MSPS430G2553, 2011, p.1). Os atuadores definidos para o protótipo foram um motor de passo e um solenoide. De acordo com Groover (2011, p. 96) eles são “dispositivos de hardware que convertem um sinal de comando do controlador em uma mudança em um parâmetro físico”, e que “esta mudança normalmente é mecânica tal como uma alteração de posição ou velocidade”.

3 DESENVOLVIMENTO

Nas pesquisas exploratórias identificou-se a existência de protótipos similares ao que foi desenvolvido, os quais utilizam sensores capacitivos e indutivos para o reconhecimento dos materiais. Estes protótipos são aplicados na indústria e possuem um princípio de funcionamento que se baseia em esteiras e ar comprimido (EIHARA et. al. 2014 e FURTUNATO et. al. 2016).

A aplicação de tais protótipos nos locais propostos neste trabalho acadêmico é inviável devido à utilização de ar comprimido e esteiras com aproximadamente 1,5 m de comprimento.

A metodologia empregada neste trabalho consiste na elaboração de um sistema rotacional controlado pelo motor de passo. Este motor é acionado conforme a identificação do material. Cada comando pré-estabelecido para o mesmo, direciona a um local diferente, por meio de aletas. Caso as características sejam reconhecidas, o material é encaminhado a sua respectiva lixeira, ou seja, vidro – verde, plástico – vermelho, papel – azul, metal – amarelo, caso não, o material é encaminhado para a lixeira cinza, simbolizando material misturado.

O modelo de motor de passo utilizado foi o 57HS13, que possui um ângulo de passo de 1.8° e pode ser alimentado com uma tensão de 36 Vdc e uma corrente de fase de 2 A na conexão em série (LEADSHINE 57HS, 2000, p. 3). A figura 1 mostra a conexão que foi utilizada no protótipo:

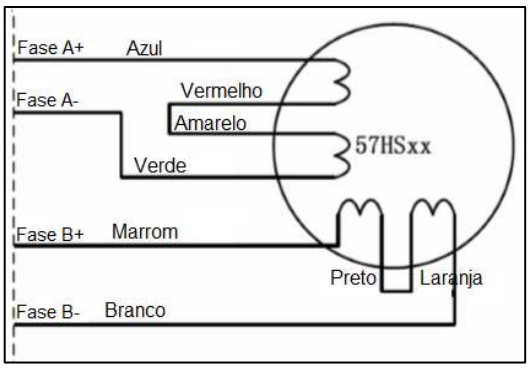


FIGURA 1 – CONEXÃO EM SÉRIE DO MOTOR 57HS13.
FONTE: LEADSHINE 57HS (2000, p. 3)

3.1 Método de separação

Pode ser notado na figura 2 o sistema de descarte do material. Quando os sensores identificam o resíduo, o motor rotaciona as aletas para o sentido horário conforme detalhe 4, levando o material na posição estabelecida, conforme detalhe 1 da figura.

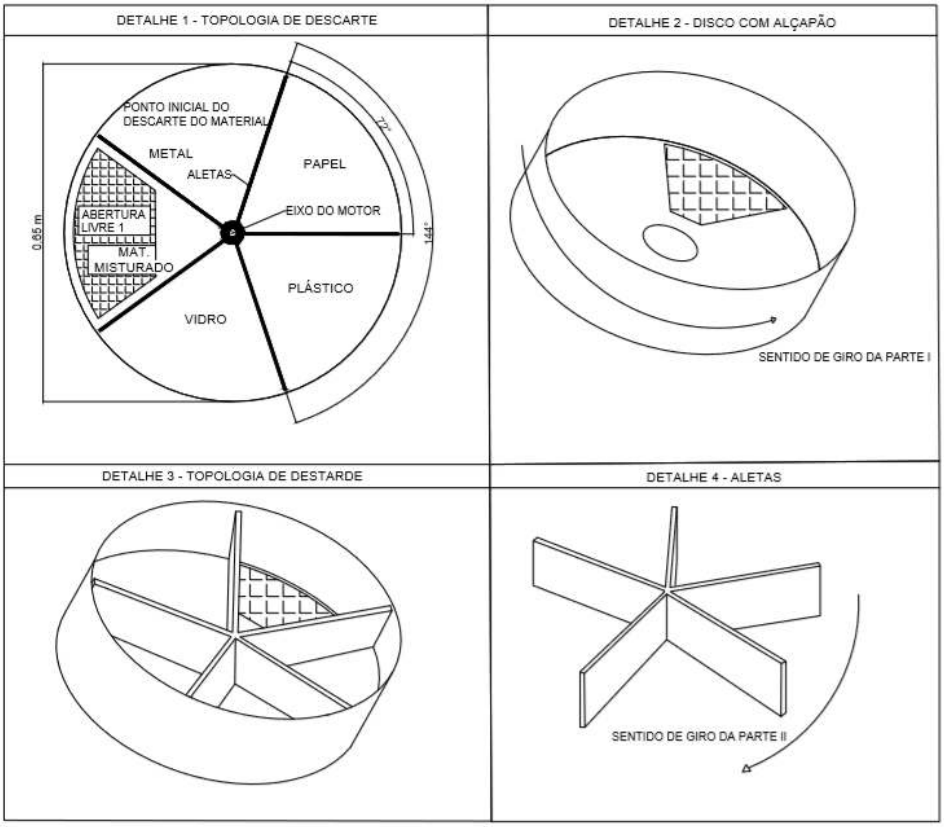


FIGURA 2 – MECANISMO DE DESCARTE DOS RESÍDUOS
FONTE: AUTORES (2018)

Após este loop, o motor rotaciona em sentido anti-horário - detalhe 2, girando o disco 360° fazendo com que o material seja descartado na lixeira correta. Foi adotado um sistema de duas catracas fixadas ao eixo do motor de maneira inversa, uma sustentando o disco e outra, o mecanismo das aletas. Enquanto o motor de passo exerce a força para rotacionar as aletas, o disco permanece parado e, em outro momento, enquanto o disco é rotacionando, o mecanismo das aletas permanece parado. Para auxiliar a frenagem das partes girantes utiliza-se um solenoide. Ela trabalha desligada, pressionando o disco e as aletas para evitar que as origens ou ponto zero do disco se percam. No momento em que os sensores identificam o material, a solenoide é acionada, liberando a rotação da parte mecânica.

3.2 Reconhecimento do material

Os sensores capacitivos são os responsáveis por identificar se o material é vidro, papel e plástico. Para os devidos fins foram empregados três sensores capacitivos modelos CM30-3015NA e LJC18A3-B-Z/BX.

Ajustou-se o primeiro sensor para a identificação do plástico, devido ao fato de que sua constante dielétrica é menor que o papel e o vidro e a sensibilidade utilizada no sensor é maior, possibilitando apenas o reconhecimento deste resíduo. O mesmo método foi realizado para o papel e o vidro. Variando a sensibilidade do sensor foi possível distinguir os materiais graças à alteração da constante dielétrica, que está entre 3,5 e de 5 a 10, respectivamente.

Para a identificação do metal, observou-se as propriedades condutivas conforme citado anteriormente, por isso optou-se pela utilização do sensor indutivo. O modelo escolhido é o NBN40-U1-A2-V1, com tensão de alimentação de 10Vdc a 30Vdc e corrente de 200mA (PEPPERL+FUCHS, 2016, p. 1).

O método empregado na fixação dos sensores para que ocorra o reconhecimento dos materiais está demonstrada na figura 3. Optou-se pela força da gravidade para descarte do material ao invés da esteira rolante adotada em projetos similares, visando a compactação do protótipo. Uma desvantagem desta topologia está na delimitação do tamanho dos materiais descartados.

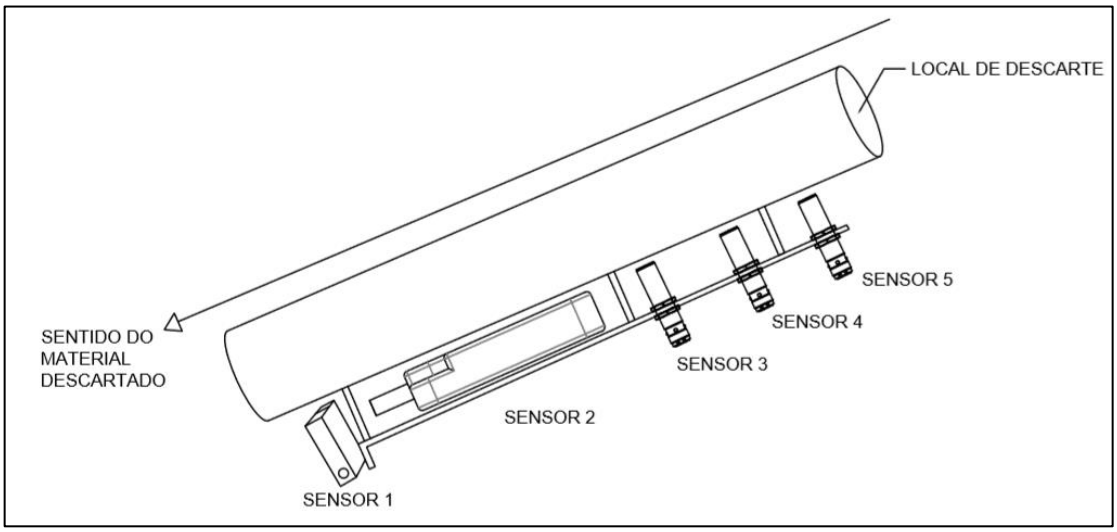


FIGURA 3 – FIXAÇÃO DOS SENSORES E SENTIDO DO MATERIAL
FONTE: AUTORES (2018)

Os sensores enumerados na figura 3, são, respectivamente:

1 – Sensor fotoelétrico difuso;

2 – Sensor de proximidade indutivo;

3 – Sensor de proximidade capacitivo;

4 – Sensor de proximidade capacitivo;

5 – Sensor de proximidade capacitivo;

O sensor fotoelétrico difuso foi utilizado para identificar a presença de qualquer tipo de material especificado neste trabalho que não foi reconhecido por outros sensores. Seu princípio de funcionamento se baseia na emissão e recepção de luz infravermelha. O sistema de difusão é uma configuração onde o sistema de transmissão e recepção estão encapsulados em uma única unidade, seu acionamento em nível lógico alto ocorre quando o objeto é refletido ou interrompe o feixe de luz (BONACORSO E NOLL, 2006, p 57). Este sensor foi ajustado para identificar qualquer material descartado e caso apenas ele seja acionado o dispositivo irá interpretar que é o material indefinido, encaminhando-o para a lixeira cinza.

3.3 Esquema elétrico e layout da placa de circuito impresso

A elaboração da placa foi realizada juntamente com o desenvolvimento da parte mecânica do protótipo. Após a definição prévia da parte mecânica e de todos os atuadores necessários, foi desenvolvido o esquemático do projeto, apresentado no apêndice A.

O esquemático foi subdividido em: microcontrolador, saída do driver, sensores, solenoides, reguladores de tensão e leds para facilitar a leitura e melhorar a identificação dos circuitos. Estes são elucidados a seguir:

a) Microcontrolador – esquemático do respectivo MSP430 e os sinais de entrada para cada pino.

b) Sensores – Alimentação dos sensores e o sinal de retorno dos mesmos.

c) Saída driver – Circuito responsável por enviar sinal para o driver acionando a rotação e a direção do motor.

d) Solenoides – Utilizou-se o transistor TIP122 para a comutação do solenoide.

e) Reguladores de tensão – Circuito responsável por regular as tensões em 12Vdc, 5Vdc, 3,3Vdc utilizadas para alimentação dos sensores, solenoides e microcontrolador.

f) Leds – Circuito para acender led quando material for identificado.

Após a conclusão do circuito elétrico foi iniciado a elaboração da placa de circuito impressa, posicionando componentes e roteando trilhas. Os detalhes da placa elaborada cujo o nome dado foi multi_selet(0) estão dispostos na figura 4.

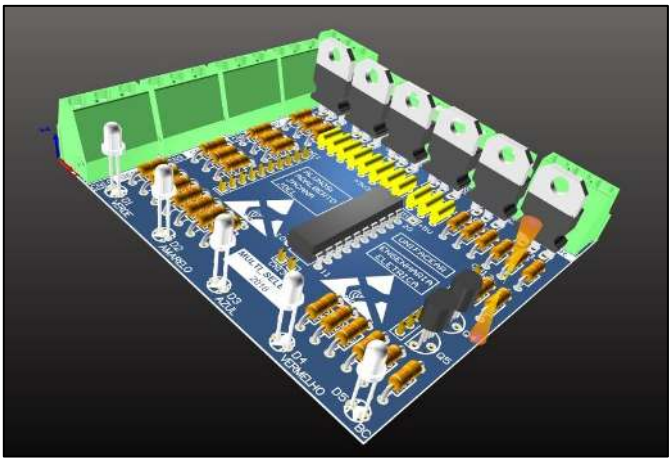


FIGURA 4 – SIMULAÇÃO DA PLACA MULT_SELET(0) MONTADA
FONTE: AUTORES (2018)

A figura 5 demonstra a placa montada para teste e a placa montada já finalizada após a realização dos testes elétricos para os sensores e atuadores.

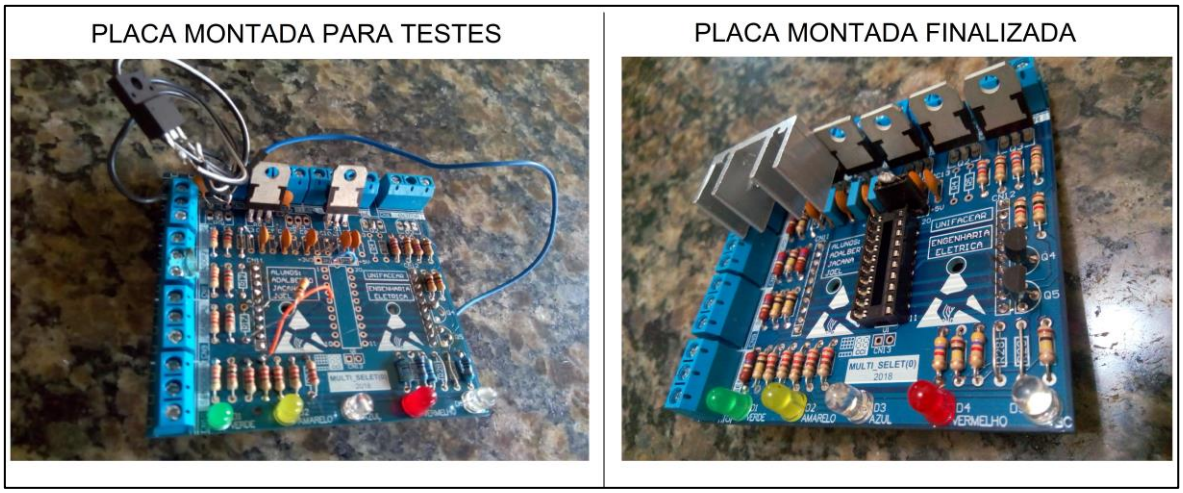


FIGURA 5 – PLACA MULTI_SELET(0) MONTADA
FONTE: AUTORES (2018)

Para o funcionamento do protótipo, foi utilizado alguns circuitos auxiliares, tais como:

a) Fonte de alimentação ajustável AC/DC 48V 7,3 A, modelo NES-350-48, utilizada para regular a tensão em 36 V para a alimentação do driver e da placa multi_selet(0).

b) *Microstepping driver* M542 para realizar o acionamento do motor de passo.

c) Conversor DC/DC step-down (buck), que tem como função diminuir a tensão de saída em 12V para a alimentação da placa multi_selet(0) em relação à tensão de entrada da fonte, sendo de 36 V.

3.4 Resultados

O método empregado neste protótipo proporcionou que o dispositivo fosse facilmente instalado em qualquer ambiente citado neste artigo, sendo necessário apenas um ponto de tomada 127V ou 220V. O protótipo possui dimensões máximas de 1,40 metros de altura por 0,72 metros de diâmetro. O material descartado deve conter dimensões máximas de 0,08m por 0,20m e possuir um peso inferior a 150g. A figura 6 mostra o protótipo montado e uma imagem em 3D ilustrando os componentes do dispositivo.



FIGURA 6 –PROTÓTIPO MONTADO E FIGURA 3D ILUSTRANDO OS COMPONENTES DO DISPOSITIVO
FONTE: AUTORES (2018)

Os resultados obtidos no reconhecimento e seleção dos materiais estão melhor detalhados no gráfico 1.

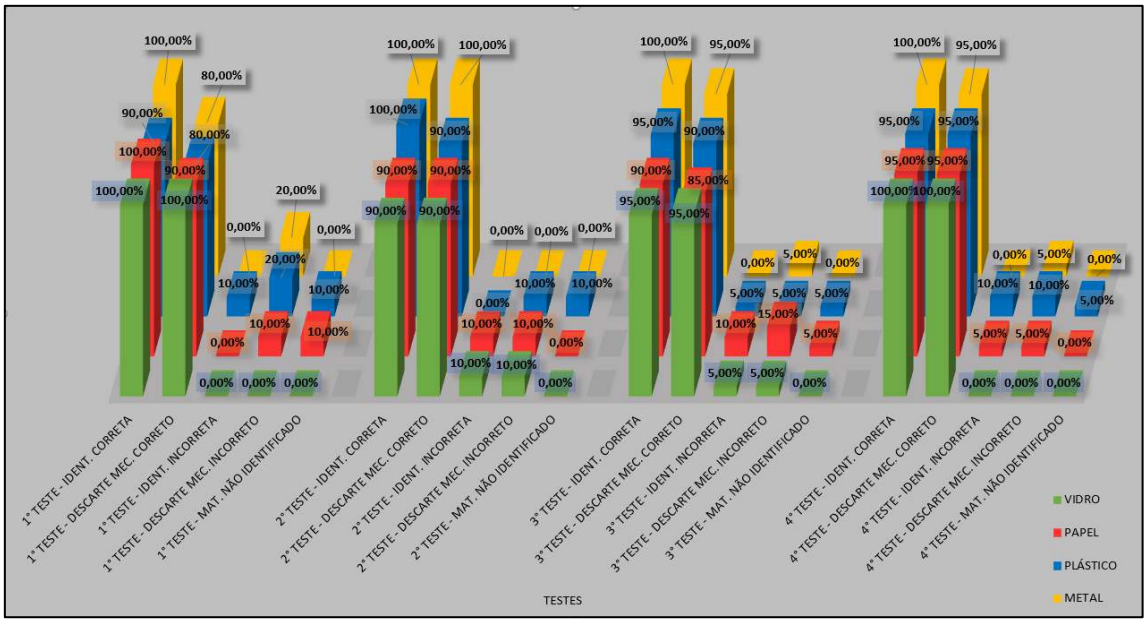


GRÁFICO 1 – RESULTADOS OBTIDOS NO RECONHECIMENTO E SELEÇÃO DOS MATERIAIS
FONTE: AUTORES (2018)

Foi realizado o teste de repetibilidade, onde os resultados apresentados foram satisfatórios. Como pode ser notado no gráfico 1, os índices de identificação e de descarte do material estão acima de 80% em todos os materiais propostos neste artigo. Também pode ser notado que após cada teste há um aumento de acerto na identificação ou no descarte do material, isso é justificado pelos ajustes realizados teste a teste. Este gráfico foi obtido a partir de 20 amostras distintas de cada material, resultando em 80 amostras distintas para cada teste. O resultado geral de identificação e descarte do material está detalhado no gráfico 2.

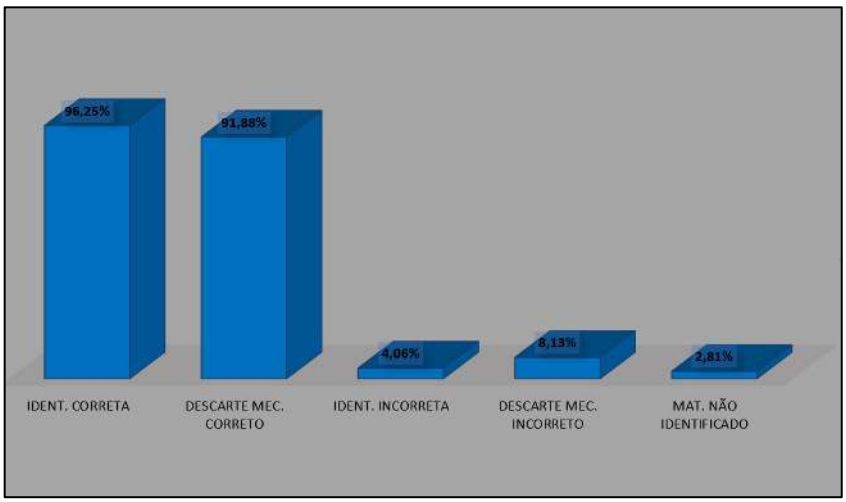


GRÁFICO 2 – RESULTADO DO GERAL DO PROTÓTIPO
FONTE: AUTORES (2018)

Pode ser observado que os resultados obtidos de uma perspectiva geral do protótipo chegam a 96,25% para o reconhecimento do material e 91,88% para o descarte correto dos materiais.

4. CONCLUSÃO

Visando a importância da conscientização da população a respeito do descarte correto de seus próprios resíduos, este trabalho trouxe uma concepção tecnológica, uma possível solução para a correta separação e descarte dos resíduos sólidos urbanos em residências, comércios, áreas comuns em condomínios, universidades, escritórios e ambientes públicos. É possível ver que todos os objetivos estabelecidos no início do trabalho foram concluídos e que os resultados do protótipo foram satisfatórios. No aspecto de identificação e descarte do material foi obtido um percentual médio de 94,07% de acertos totais, concluindo que ajuste e melhorias devem ser feitas para atingir 100% de acertos.

Com base no desenvolvimento deste estudo, existe a possibilidade de implementação de diversas melhorias, tais como: a troca dos sensores digitais pelos analógicos, que possibilitaria o reconhecimento mais preciso dos materiais; um banco de armazenamento de dados e uma interface com os usuários. A criação dos sensores para reconhecimento do material é também uma sugestão para melhorias futuras ou até mesmo um sistema de reconhecimento por imagem.

5. REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/ Panorama/panorama2016.pdf > Acesso: 12 mar. 2018.

ASHBY, Michael F.; JONES, David Rayner Hunkin. **Engenharia de materiais**. Volume II, Tradução da 3ª Edição Elsevier/Campus, 2007.

BONACORSO, Nelso Gauze; NOLL, Valdir; **Automação Eletropneumática**. 9° edição. Ed Erica, 2006.

BRASIL, Lei. 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos** 2° Edição, 2012. Disponível em: <https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf >Acesso: 25 mar. 2018.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. Ed. Érica, 2012.

EIHARA, Bruno Rafael; SILVA, Douglas Costa Lopes da; SANTOS, Eduardo Ferro dos. **Esteira Para Separação Automática De Material Reciclado**, 2014. Disponível em < www.revista.unisal.br/lo/index.php/reget/article/view/139/99> Acesso em: 27 de fevereiro de 2018.

FRANCHI, M. C.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis:** Sistemas Discretos. 2ª Edição. São Paulo: Érica, 2009.

FURTUNATO, Fernando A. P. S.; PRADO, Carlos R.; LOPES, Claudio R.; SANTOS, Ezequiel da Silva. **Projeto e Construção de um Separador de Materiais**

Eletropneumático para Reciclagem, 2016. Disponível em: <http://copec.eu/intertech2016/proc/works/40.pdf> Acesso em: 27 de fevereiro de 2018.

GROOVER, Mikell P.; **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura.** 3° Edição, Pearson Educacion, 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**, volume 3: eletromagnetismo. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LEADSHINE. **Datasheet 57HS Series Hybrid Stepping Motors**, 2000. Disponível em <http://www.leadshine.com/UploadFile/Down/57HSxxd.pdf> Acesso: 20 abril, 2018.

MMA. **O Que O Brasileiro Pensa Do Meio Ambiente E Do Consumo Sustentável.** 2012 Disponível em: < http://www.mma.gov.br/images/noticias_arquivos/pdf/sumario%20executivo_pesquisabrasileiro_principais%20resultados_2012.pdf> Acesso em: 02 mar. 2018.

PEPPERL+FUCHS. **Datasheet Indutive Sensor**. 2016. Disponível em <https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/edb/203092_eng.pdf?v=20180507000120> Acesso: 06 abril, 2018.

RIBEIRO, Rafaela. **Como e por que separar o lixo?.** 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porqu%C3%AA-separar-o-lixo> Acesso em: 20 de abril de 2018.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de mecatrônica**. 2ª Edição Pearson Educacion, 2005.

SANTOS (Estado). Lei n.° 952 de 30 de agosto de 2016. **DISCIPLINA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS QUE ESPECIFICA, E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS.** Disponível em: **<HTTPS://EGOV.SANTOS.SP.GOV.BR/LEGIS/DOCUMENT/?CODE=6198>** Acesso: 25 mar. 2018

SENSE. Sensores e Instrumentos. **Manual de Instrução**. 2002. Disponível em: http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CURSO%20BINACIONAL%20URUGUAY-BRASIL%202011/PLC/Teoria%20de%20sensores/Indutivos_PNP_NPN.pdf Acesso: 31 mar. 2018

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais.** 6ª Edição, Pearson Prentice Hall, 2011.

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet MSP430 Mixed Signal Microcontrolle**. 2011. Disponível em < http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2453.pdf> Acesso: 21 abril, 2018.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. **Sensores industriais: Fundamentos e Aplicações**. 4ª Edição São Paulo, v. 3, 2005.

WILLIAM, D. C. J.; CALLISTER, J. R. **Ciência e Engenharia de Materiais-Uma Introdução**, 5ª Edição. Editora LTC–Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, 2002.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: **Eletromagnetismo**. 12ª Edição. São Paulo: Person Education do Brasil, 2009.

APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO

