

ESTEIRA PARA SEPARAÇÃO AUTOMÁTICA DE MATERIAL RECICLADO

Bruno Rafael Eihara, brunoeihara@yahoo.com.br¹
Douglas Costa Lopes da Silva, douglassilva@yahoo.com.br²
Eduardo Ferro dos Santos, eduardo.ferro@usp.br³

^{1,2} UNIESP, Faculdade de Tecnologia São Francisco, Unidade de Jacareí

³ Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena

Resumo: O presente trabalho mostra o desenvolvimento de uma esteira para separação automática de material reciclado, tendo em vista que hoje as empresas têm dado grande importância a este assunto e vêm adotando a utilização de alguns equipamentos, como esteiras transportadoras, separadores automáticos e incineradores, como forma de destinar de forma correta seus resíduos. Dessa forma, foi projetada e desenvolvida uma esteira utilizando 1 sensor Indutivo e 3 capacitivos, capazes de identificar os materiais: metal, vidro, papel e plástico e separá-los de forma correta para recipientes específicos. Com a análise dos resultados foi identificado que a esteira se comportou de forma estável, fez a detecção e separação, de forma precisa, dos materiais de maior espessura.

Palavras-chave: reciclagem, esteira, sensores e automação

TREADMILL FOR AUTOMATIC SEPARATION OF RECYCLED MATERIAL

Abstract. The present work shows the development of an treadmill for automatic separation of recycled material, since that today companies have given great importance to this subject and are leveraging the use of some equipment, such as conveyors, automatic separators and incinerators as a way to allocate properly their residues. In this way, the treadmill was designed and developed using 4 sensors, 3 capacitive and 1 inductive sensors able to identify materials: Such as glass, plastic, paper and metal, and separate them correctly to specific containers. According to the analysis of the results, it was identified that the treadmill has behaved stably, detecting and accurately making separation of high-density materials. There is a need to improve the prototype in order to detect low-density materials. The prototype proved to be efficient for the purpose it was designed.

Keywords: recycling, treadmill, sensors and automation.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, fala-se muito em degradação e preservação do meio ambiente. O tema é polêmico e bastante vasto, mas o fato é que temos observado muitos fenômenos climáticos que mostram que a natureza está passando por diversas transformações e na maioria das vezes, estas transformações tem uma única origem: a ação predatória do homem. Estes fenômenos climáticos que assistimos hoje são respostas da natureza, um alerta para que as devidas providências sejam tomadas. Um dos maiores causadores das ações predatórias do homem é a necessidade de aumento contínuo na produção de bens de consumo para atender a atual sociedade consumista. As empresas buscam acelerar os processos industriais e muitas vezes negligenciam os cuidados com o meio ambiente. Enquanto o desenvolvimento apresentar estas características, a civilização estará criando diversos problemas ambientais a se enfrentar.

Sabe-se que as empresas devem cumprir exigências ambientais desde a extração da matéria-prima até a entrega do produto final ao consumidor. Neste processo, um dos meios para contribuir com a preservação do meio ambiente é o destino correto para os resíduos da produção. Para grande parte destes resíduos a reciclagem é considerada a melhor opção, pois permite a reutilização destes resíduos em novos materiais. Pensando em conscientizar e viabilizar os processos de reciclagem algumas empresas vêm adotando a utilização de alguns equipamentos, como separadores automáticos esteiras transportadoras, e incineradores. Hoje em dia o equipamento mais utilizado é a esteira transportadora que movimenta os materiais a serem reciclados, para que as pessoas possam fazer a separação manual.

Este trabalho apresenta a aplicação da automação industrial nessas esteiras, onde os materiais serão separados por meio de sensores que identificam metal, vidro, papel e plástico. O objetivo geral deste estudo é projetar e fabricar um modelo de esteira automatizada. Com isso, o conceito de automação será aplicado, já que apresenta semelhança ao funcionamento de um robô. Como atividades a executar, têm-se: projetar o modelo de esteira separadora automática; fabricar a estrutura metálica para a esteira; fabricar o modelo de esteira, utilizando quatro sensores (Capacitivo /

Indutivo) que farão a identificação automática dos materiais, um micro controlador Arduino Duemilanove para processar as informações captadas pelo sensor e transferi-las para os atuadores e após concluída a montagem, submeter o modelo de esteira aos testes de repetibilidade e eficiência dos sensores.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Microcontrolador Arduino

O microcontrolador Arduino surgiu a partir da necessidade de se criar projetos de baixo custo e de simples interação, já que alguns dos principais impedimentos para escolas e laboratórios, em desenvolverem qualquer projeto relacionado à robótica era o elevado custo desses equipamentos. No ano de 2005 na cidade de Ivrea na Itália, um grupo de pesquisadores iniciou o projeto Arduino, baseado no microcontrolador Atmega, que foi desenvolvido em linguagem similar a C++. Esta tecnologia foi criada sob a licença open-source, isto é, qualquer empresa pode fabricar sua própria placa controladora.

Para este projeto o Arduino está programado para receber sinais digitais dos sensores capacitivos e indutivo, processá-los e como resposta, enviar sinais analógicos para os micro servos (item 2.7). No pino número 1 (um) do Arduino, conecta-se o sensor indutivo, que tem a função de detectar objetos metálicos. Ao receber o sinal positivo do sensor, o arduino responde com um sinal analógico no pino de saída número 6 (seis) que está diretamente ligado ao micro servo, este por sua vez tem a função de movimentar a aleta 1 (um), que removerá o objeto metálico da esteira. No pino número 2 (dois), conecta-se o primeiro sensor capacitivo que está ajustado para detectar objetos de vidro. Ao receber o sinal positivo do sensor, o arduino envia o sinal analógico no pino de saída número 9 (Nove) e por meio do micro servo movimenta a aleta 2 (dois) e remove o objeto de vidro da esteira. No pino número 3 (três), conecta-se o segundo sensor capacitivo que está ajustado para detectar objetos de papel. O arduino ao receber o sinal positivo do sensor, envia o sinal analógico no pino de saída número 10(dez) e por meio do micro servo movimenta a aleta 3 (três) que remove o objeto de papel da esteira. No pino número 4 (quatro), conecta-se o terceiro sensor que está ajustado para detectar objetos plásticos. Ao receber o sinal positivo do sensor, o arduino envia o sinal analógico no pino de saída número 11 (onze) e por meio do micro servo movimenta a aleta 4 (quatro) que remove o objeto plástico da esteira.

2.2. Sensor Indutivo de Proximidade

O sensor indutivo é um componente eletrônico capaz de detectar a aproximação de um objeto metálico sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador. Consiste de uma bobina sobre um núcleo de ferrite, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída, conforme mostra a Figura (1).

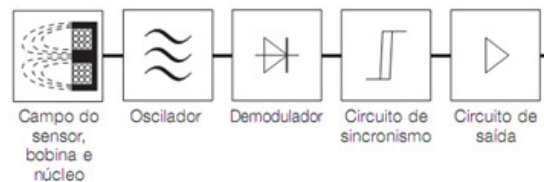


Figura (1) - Estrutura do sensor indutivo.

Fonte: <http://www.balluff.com.br>

Quando um objeto metálico entra no campo de sensoriamento, ocorre uma perda de energia devido às correntes de fuga do objeto, ocasionando uma redução na amplitude de oscilação. O circuito de disparo reconhece esta mudança específica na amplitude e, dependendo da magnitude da mudança, gera um sinal de comando para o circuito de saída, conforme Figura (2).

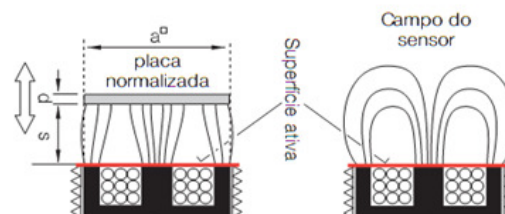


Figura (2) - Mudança na amplitude de oscilação do material detectado.

Fonte: <http://www.balluff.com.br>

O funcionamento do sensor é obtido com um campo eletromagnético constante, gerado na frente do sensor. Quando um objeto metálico entra no campo eletromagnético formado, são induzidas no objeto correntes de fuga. Estas correntes causam perdas na energia armazenada no campo. A intensidade das perdas de energia é percebida pelo sensor. A frequência de comutação é a velocidade máxima com que o sensor entrega pulsos individuais discretos quando o objeto

entra e sai do campo de detecção. Este valor é sempre dependente do tamanho do objeto, distância entre este e face ativa e a velocidade da esteira.

2.3. Sensor Capacitivo de Proximidade

Os sensores capacitivos permitem medir com precisão uma grande variedade de grandezas físicas, tais como a posição, o deslocamento, a velocidade e a aceleração linear ou angular de um objeto, umidade, concentração de gases e o nível de líquidos ou sólidos, detectar a proximidade de objetos, a presença de água, de pessoas e etc. Atualmente existe uma grande variedade de aplicações que utilizam sensores capacitivos, de forma discreta ou integrada. Por exemplo, são comuns os sensores capacitivos de pressão, de aceleração, de fluxo de gases ou líquidos, de umidade, de compostos químicos como o monóxido de carbono, dióxido de carbono, de temperatura, de vácuo, de nível de líquidos, de força, de deslocamento, etc., uns detectando as variações na espessura do dielétrico, outros na constante dielétrica.

A detecção da variação da capacidade é geralmente efetuada por meio da medição da carga acumulada, por exemplo, através da aplicação de uma tensão constante, ou então indiretamente pela variação da frequência de oscilação ou da forma de onda da saída de um circuito, do qual o sensor é parte integrante. Um sensor de proximidade capacitivo é constituído basicamente de um oscilador, cujo capacitor é formado por 2 eletrodos localizados na face de sensoriamento do produto. No ar ($\epsilon_0 = 1$), a capacitância do capacitor é C_0 , dada pela Equação (1):

$$C_0 = \epsilon_0 \cdot A/d \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: A é a área das placas do capacitor e D é a distância entre as placas, exemplo na Figura 3.



Figura (3) - Funcionamento do sensor capacitivo.

Fonte: <http://www.getec.cefetmt.br>

Todo material com $\epsilon_r > 2$ será detectado. Quando um objeto de qualquer material ($\epsilon_r > 2$) estiver próximo à face de sensoriamento, ele modifica o valor da capacitância (C_1). Esta variação da capacitância ($C_1 > C_0$) provoca o acionamento do oscilador. Após a formatação, um sinal de saída é liberado. Na ausência de objeto, $\epsilon_r = 1$ (no ar).

2.4. Motor de Passo

Os Motores de Passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais. A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência que tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados.

Motores de passo são muito utilizados quando se necessita de movimentação de forma precisa. Eles podem ser utilizados quando é necessário controlar fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. Suas vantagens são: Bom torque, velocidade e precisão de movimentos. O motor utilizado no projeto é o de ímã permanente, devido ao seu baixo custo e fácil aplicação. Este motor tem passo de $7,5^\circ$, o rotor é desenvolvido com um ímã permanente e não possui dentes. Os pólos magnetizados do rotor provêm uma maior intensidade de fluxo magnético, por isso o motor de ímã permanente tem um melhor desempenho com relação ao torque, quando comparado a outros tipos.

2.5. Circuito integrado

O circuito integrado UNC 4202 é um *driver* formado por um conjunto de portas lógicas e diodos especificamente para controlar motores de passo com ímã permanente e com correntes de até 600 mA por enrolamento e contendo impulsores para quatro enrolamentos. Este circuito integrado oferece um controle total sobre o motor de passo, apenas com uma única entrada de pulsos e sua frequência de entrada determina sua velocidade. O UNC 4202 da Figura (4) utilizado no projeto possui oito pinos no padrão D.I.L. (*dual in line*), podem controlar motores de até 12V e corrente máxima de 600mA, em modo *full step* ou *double step*.

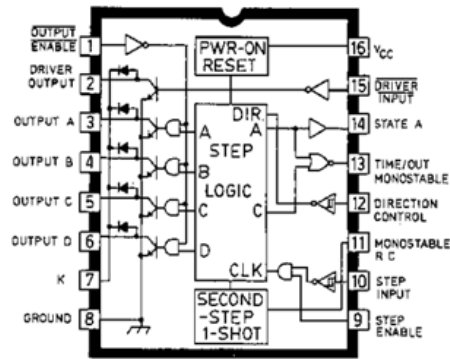


Figura (4) - Estrutura do UNC 4202

Fonte: Data Sheet

O pino 1 “output enable” (Figura 4), é responsável para habilitar as saídas para alimentar os enrolamentos do motor de passo. Pino 2 “driver output” é uma saída de tensão, própria para alimentar o motor e dependente da entrada do pino 15 “driver input”. Os pinos 3,4,5 e 6 “output A,B, C e D” respectivamente, são as saídas de pulsos para controle do motor de passo. O pino 7 “K” é a entrada de tensão para alimentar o motor. O pino 8 “ground” é o terra. O pino 9 “step enable” habilita a entrada de pulsos. O pino 10 “step input” é a entrada de pulsos unitária, isto é, avança uma posição a cada pulso. O pino 11 “monostable RC” quando esta entrada recebe um sinal alto e constante, o motor de passo operará em modo *full step*, mas se estiver recebendo pulsos de um oscilador, operará em modo *Double Step*, e possuirá um torque maior. O pino 12 “Direction Control” é responsável pelo sentido da rotação. Com entrada alta seu sentido de rotação será ABCD e caso esteja conectado ao pino terra, o sentido de rotação será DCBA. O pino 16 “Vcc” é a alimentação do circuito integrado.

O circuito integrado 555 funcionará em modo Astável como um gerador de frequência que estará diretamente conectado com o controlador do motor de passo UNC 4202.

2.6. Micro Servo

O micro servo é normalmente utilizado em aeromodelismo e é responsável por movimentar as superfícies de controle. Utilizado atualmente em diversos projetos de automação, o micro servo surgiu de uma necessidade de se movimentar objetos ou dispositivos atuadores de forma precisa e controlada. A capacidade de movimentar o seu eixo de saída até uma posição e se manter neste local, mesmo que este seja forçado em outra direção é uma característica marcante deste micro servo. Normalmente o micro servo é ligado a uma tensão de 5V e recebe um sinal analógico do controlador. Outra característica importante do micro servo é sua velocidade de 60°/1 segundo.

3. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

A estrutura é constituída por barras de ferro metalon com as seguintes dimensões: 4 cm x 2 cm X 1,5 mm de espessura. As barras foram soldadas na forma retangular com as seguintes dimensões: 150 cm X 20 cm X 50 cm conforme mostra a Figura 5.

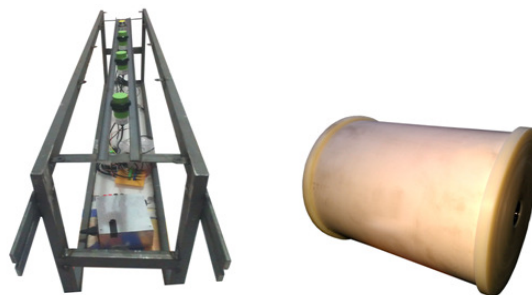


Figura (5) - Estrutura base do projeto e Rolete

Os roletes foram desenvolvidos a partir de dois prolongadores de PVC, com dimensões 150 mm de diâmetro x 200 mm de comprimento, 4 discos de nylon de 160mm de diâmetro e 5 mm de espessura, 4 rolamentos conforme mostra a Figura 13. Foi feito um rebaixo de 2 mm de profundidade no disco para facilitar o encaixe no rolete.

O posicionamento do motor é realizado do lado externo da estrutura, pois o seu tamanho impossibilitou a instalação junto ao rolete pela parte interna da estrutura, conforme mostra a Figura 6. O encaixe do motor na engrenagem da estrutura é realizado através de um suporte instalado no mancal conforme mostra também a Figura 6.

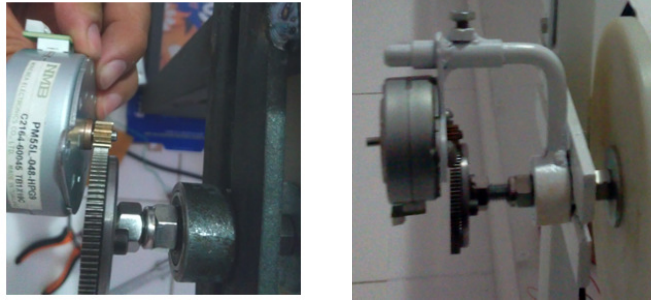


Figura (6) - Instalação do motor e do suporte do motor.

Neste projeto são utilizados um sensor indutivo e três sensores capacitivos. O sensor indutivo não possui aferição, pois é capaz de detectar apenas objetos metálicos. Os sensores capacitivos são capazes de detectar uma grande variedade de materiais. Estes sensores são dotados de um pequeno potenciômetro (*trim-pot*) na parte posterior à face sensora, para ajustar a sensibilidade de sensoriamento (Figura 7).



Figura (7) - Potenciômetro para aferição do sensor.

Para a aferição correta dos sensores é necessário conhecer as propriedades de permeabilidade magnética de cada material, quanto menor a permeabilidade magnética do material, maior será a sensibilidade ajustada. Os três sensores capacitivos são ajustados para os materiais: vidro, papel e plástico. Os sensores estão fixados em um suporte conforme mostra a Figura 8, e acima deles está fixada uma placa de acrílico com dimensões 6 mm X 150 mm X 20 mm e orifícios de 52 mm de diâmetro que possibilitam o faceamento dos sensores com a placa de acrílico. Para iniciar a aferição, todos os sensores foram posicionados em sua faixa máxima de detecção, ou seja, para que ficassem ativos apenas com a presença do ar e após este procedimento, os objetos de cada tipo específico foram aproximados da face detectora e o potenciômetro foi rotacionado para a esquerda até que os objetos fossem reconhecidos.



Figura (8) - Suporte para fixação dos sensores e Placa de acrílico com orifícios.

Para o apoio da esteira é utilizado uma placa de acrílico de 6 mm de espessura, conforme mostra a Figura 18, medida exata para que a placa não flexione. A placa possui quatro orifícios de 52 mm de diâmetro, onde os sensores estão instalados e alinhados com a parte superior da placa de acrílico. Desta forma, os sensores entram em contato somente com os objetos a serem detectados.

O tecido utilizado como meio transportador na esteira é o TNT (tecido não tecido). As características que permitiu a escolha por este tecido foram: alta resistência a tração; é leve; é um material biodegradável e possui porosidade que permite a passagem dos campos eletromagnéticos dos sensores. Para esta aplicação o tecido foi confeccionado com 17 cm de largura e 372 cm de comprimento, conforme mostra a Figura 9.

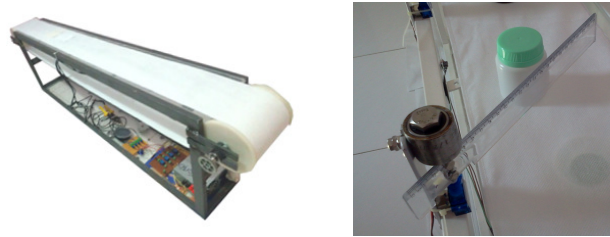


Figura (9) - Tecido transportador da esteira e Micro servo com aleta.

O micro servo foi utilizado na parte superior da esteira, onde é acoplado a uma aleta e tem a função de retirar o material da esteira, separando-os conforme identificação de cada material (Figura 9).

Após estudo dos circuitos integrados UNC 4202 e 555, e de vários testes no *protoboard*, projetou-se um circuito para controle de velocidade e direção de rotação do motor impulsor da esteira utilizado no projeto conforme mostra a Figura 10. O CI 555 foi projetado para funcionar em modo astável, ele controla a frequência por um potenciômetro e gera um trem de pulsos ligado ao pino 11 do UNC 4202. O UNC gera uma saída seqüencial nos pinos 3,4,5 e 6, que controlam o motor de passo, de acordo com a frequência recebida do 555.

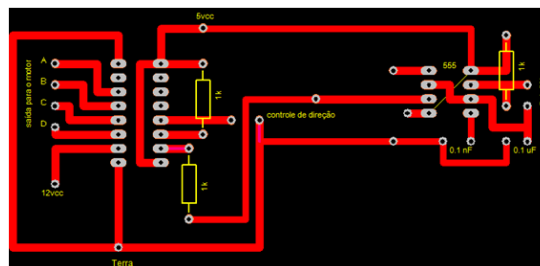


Figura (10) - Layout da placa controladora do motor de passo.

O arduino recebe uma tensão máxima de 5V, no entanto os sensores funcionam com uma tensão mínima de 12V. Para haver uma conexão segura, foi desenvolvida uma placa de interfaceamento para equalizar as tensões. Conforme Figura 11, esta placa é constituída de 4 relés e 4 resistores de 1kΩ, os pontos 5 e 2 ligam a bobina do relé, o ponto 1 está ligado ao terra do Arduino que é o pino comum do relé normalmente ligado ao pino 4. A letra “s” corresponde a entrada digital, que normalmente receberá um sinal de 5v proveniente do próprio Arduino, com um resistor ligado em série para controlar a corrente em sua entrada. Quando a bobina do relé é alimentada, o pino 1 se conecta ao pino 3, fazendo com que a corrente que alimentava a entrada “s”, percorra diretamente para o terra, deixando a entrada “s” com uma tensão próxima a zero, deste modo acionando a entrada da programação.

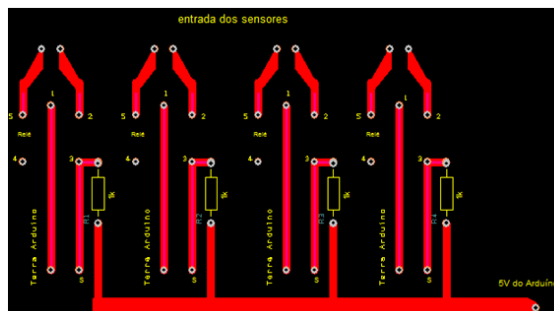


Figura (11) - Layout da placa driver de acoplamento dos sensores ao Arduino.

A placa apresentada na Figura 12 é uma interface para a alimentação dos sensores. Os sensores utilizados no projeto possuem quatro fios cada, sendo um negativo, um positivo, um normal aberto e um normal fechado. Utilizamos os dois fios de alimentação e o normal aberto. Os pontos 3 e 4 são os fios de alimentação dos sensores, o ponto com a letra “P” corresponde ao normal aberto do sensor. Os pontos 1 e 2 estão conectados ao relé da placa driver de acoplamento dos sensores e ao Arduino. A alimentação desta placa é realizada diretamente da fonte do projeto com uma tensão de 12V, necessária para o funcionamento dos sensores.

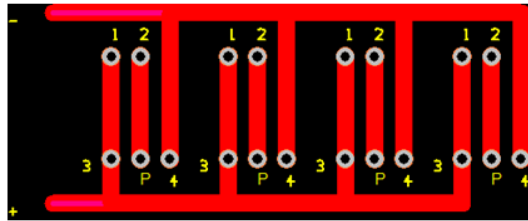


Figura (12) - Layout da placa de alimentação dos sensores.

A Figura 13 mostra o fluxograma da programação desenvolvida no arduino para controle do sistema.

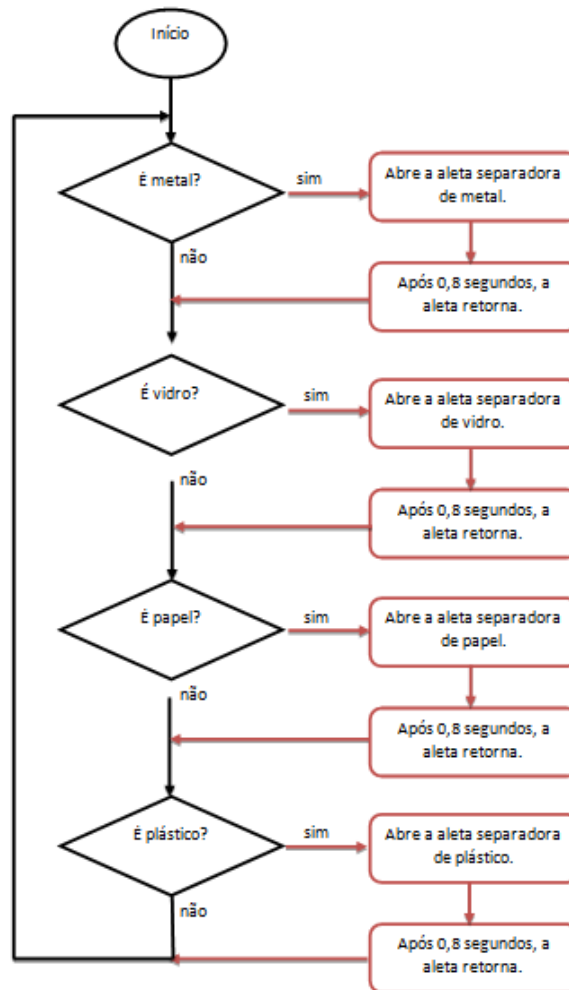


Figura (13) - Fluxograma da programação do Arduino.

Durante a montagem e testes da esteira foi possível fazer adequações no projeto para chegar à configuração final. Verificou-se a necessidade de:

- Adequar a largura do tecido para 17 cm e não 18 cm como definido no início do projeto, devido à elasticidade e deformação que o tecido sofre ao ser tracionado pelos roletes o que acarretava um deslocamento lateral do tecido e conseqüentemente a parada do equipamento.
- Implantar um trilho longitudinal para facilitar o deslocamento e ajuste dos sensores.
- Construir um “chicote de conexão” para conectar os cabos dos sensores no arduino.
- Inverter a posição dos sensores na estrutura da esteira para que o papel seja detectado primeiro e posteriormente o plástico, devido à grande proximidade da faixa de detecção desses materiais.
- Utilizar materiais de alta densidade, visto que não foi possível detectar objetos com baixa densidade.

Após ajustes apresentados no item 3.10 foi possível finalizar a montagem, conforme mostra a Figura 14 e iniciar os testes de repetibilidade.



Figura (14) - Esteira completa

4. ANÁLISE E RESULTADO

De acordo com o gráfico da figura 15, pode-se observar que na seqüência dos testes houve uma melhoria na detecção dos objetos. No primeiro teste realizado, percebemos que alguns objetos plásticos foram detectados como papel, e os objetos metálicos e de vidros estavam com problemas na sensibilidade. Para confirmar os problemas verificados, repetimos o teste. No terceiro teste, foi ajustada a sensibilidade do sensor de vidro, plástico e papel, e apresentou maior qualidade na detecção. No quarto teste, observamos que alguns objetos não eram detectados devido ao modo na qual foi posicionada na esteira, algumas latas possuem em suas bases, uma curvatura que diminui a área de detecção.

Alteramos a posição dos objetos colocados na esteira e alguns objetos que passavam pelos sensores, foram detectados e separados. Objetos plásticos do material PET (polímero Polietileno tereftalato), não foi detectado em nenhum dos testes. No quinto teste, retiramos os objetos plásticos do tipo PET, e obtivemos 100% de êxito na separação dos objetos.

A esteira, após os ajustes conforme item 4.1, foi submetida ao teste de repetibilidade por duas horas, onde foram adicionados sobre a esteira materiais de diversos tamanhos e densidades em 5 etapas. Estes materiais foram colocados sobre a esteira em movimento, um a um, e foi analisado o grau de confiabilidade dos sensores. O resultado dos testes é apresentado no gráfico da Figura 15.

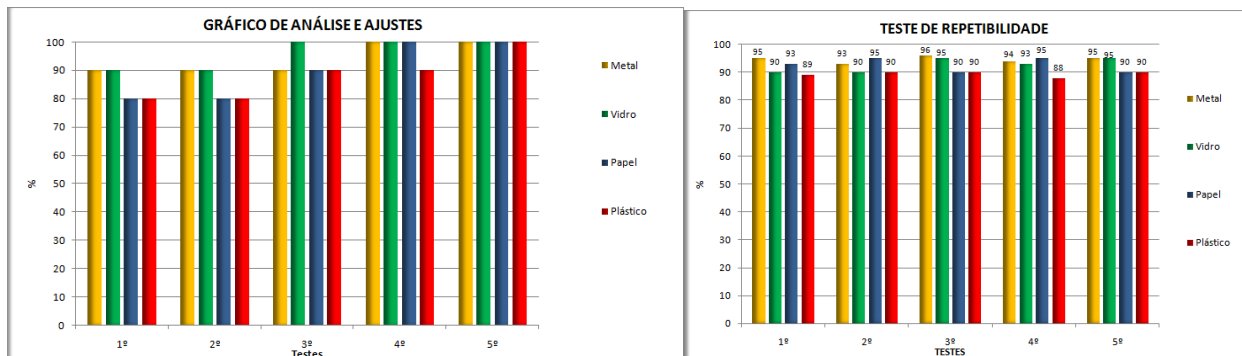


Figura (15) - Gráfico de Análise e Ajustes e Gráfico do Teste de Repetibilidade

Percebe-se que: Metal obteve 95% de detecções corretas; Vidro obteve 93% de detecções corretas; Papel obteve 93% de detecções corretas; Plástico obteve 89% de detecções corretas; Resultados dos testes com uma média de 92% de acertos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DO PROJETO

O projeto teve objetivo de se destinar, de forma correta, os objetos de materiais reciclados. Para isso foi desenvolvido um protótipo de esteira de separação automática de materiais reciclados. Após a fase de implementação, testes foram realizados e mostraram que o protótipo é eficiente, atingindo 92% de acertos. Este resultado prova que apesar de atender o objetivo proposto no trabalho, o protótipo precisa passar por reavaliação e melhorias citadas no item 5.1. Foi possível aplicar e integrar todas as áreas do conhecimento, adquiridos durante o curso de engenharia de controle e automação. Também foi possível reconhecer a importância da preservação do meio ambiente e como a engenharia pode contribuir para isso.

Como os resultados foram satisfatórios, espera-se que o modelo de esteira automática desenvolvido possa atender às necessidades do mercado, tendo em vista que com sua aplicação se tem um ganho significativo de produção e aumento na segurança dos colaboradores, sendo que estes não terão contato físico com os materiais. Ótimo investimento para empresas que buscam inovação, aumento na cadeia produtiva e segurança dos colaboradores em processos de reciclagem.

Com base no desenvolvimento deste estudo, existe a possibilidade de implementação de diversas melhorias. A primeira sugestão seria a utilização de um tecido mais rígido que tivesse propriedades não detectáveis pelos sensores, sendo que o tecido utilizado apresentou uma flexibilidade demasiada. Outra melhoria é aplicar uma membrana protetora nos sensores mantendo-os sempre secos, já que os materiais a serem reciclados, podem estar úmidos ou com outro tipo de resíduo, dificultando a detecção.

Uma sugestão baseada na ideia de automação seria a utilização de cilindros pneumáticos, que fariam a retirada dos materiais da esteira de forma mais rápida e precisa. A inclusão de uma balança para medir a quantidade exata de materiais separados, isso seria de extrema importância para empresas que trabalham com compra e venda de materiais reciclados, que normalmente são comercializados por unidade de peso quilograma. São também sugestões para trabalhos futuros: Pesquisar e desenvolver sensores que possam detectar materiais de pequena espessura e materiais PET, sendo que em testes realizados não foi possível detectá-los; Projetar um realimentador da esteira que pudesse adicionar os materiais um a um na esteira de forma cadenciada; Desenvolver novas esteiras subsequentes que transportassem os materiais já separados para o destino final, como trituradores, prensas e fornos. O protótipo de esteira automática aqui desenvolvida foi realizado em escala reduzida. Para finalidades comerciais, recomenda-se uma reavaliação dos equipamentos utilizados e da escala necessária, visando um melhor desempenho dos equipamentos e melhoria nos custos.

6. REFERÊNCIAS

- Balluff, Sensores Indutivos. Disponível em: <http://www.balluff.com.br>
 Damião, R. Apostila de sensores. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>
 Kemper, H. Entendo os Motores do Robô. Disponível em: <http://www.kemper.com.br>
 Lucas, L. O que é um sensor Capacitivo. Disponível em: <http://www.digel.com.br>
 Mario, A. Sensores de proximidade capacitivos. Disponível em: <http://www.getec.cefetmt.br>
 Mike, R. Aprendendo a Enxergar. Lean Institute Brasil – The Lean Enterprise Institute – São Paulo, 1999.
 Pictronics, Como funciona um servo. Disponível em: <http://www.pictronics.com.br>
 Sidney, P. Motor de Passo. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>
 Wikipédia. Arduino. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino>

7. RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.

APÊNDICE

Apêndice A – Diagrama Geral de Fluxo do Arduino.



Apêndice B – Programa do sistema no Arduino.

```
#include <Servo.h>
int spapelPin = 1; // entrada do sinal sensor do papel no pino 1
int smetalPin = 2; // entrada do sinal sensor de metal no pino 2
```

```

int splasticoPin = 3; // entrada do sinal sensor do plástico no pino 3
int svidroPin = 4; // entrada do sinal sensor de vidro no pino 4
Servo mpapel; // declara mpapel como servo
Servo mmetal; // declara mmetal como servo
Servo mplastico; // declara mplastico como servo
Servo mvidro; // declara mvidro como servo
int spapelState; // variável para ler o estado do sensor papel
int smetalState; // variável para ler o estado do sensor metal
int splasticoState; // variável para ler o estado do sensor plástico
int svidroState; // variável para ler o estado do sensor de vidro
void setup()
{
  mpapel.attach(11); // declara mpapel como saída analógica 11
  mmetal.attach(10); // declara mmetal como saída analógica 10
  mplastico.attach(9); // declara mplastico como saída analógica 9
  mvidro.attach(6); // declara mvidro como saída analógica 6
  pinMode ( spapelPin, INPUT); // declara spapelPin como entrada
  pinMode ( smetalPin, INPUT); // declara smetalPin como entrada
  pinMode ( splasticoPin, INPUT); // declara splasticoPin como entrada
  pinMode ( svidroPin, INPUT); // declara svidropin como entrada
  mpapel.write(55); // posição inicial do micro servo motor
  mplastico.write(55); // posição inicial do micro servo motor
  mmetal.write(55); // posição inicial do micro servo motor
  mvidro.write(48); // posição inicial do micro servo motor
}
void papel(){ // sub programa papel
  spapelState = digitalRead(spapelPin); // realiza leitura da porta de entrada e verifica o estado
  if (spapelState == LOW){ // se o sensor estiver acionado
    mpapel.write(0); // abri as aletas
    delay(800); // espera 0,8 segundos
    mpapel.write(55); // retorno
  }
}
void metal(){ // sub programa metal
  smetalState = digitalRead(smetalPin); // realiza leitura da porta de entrada e verifica o estado
  if (smetalState == LOW){ // se o sensor estiver acionado
    mmetal.write(0); // abri as aletas
    delay(800); // espera 0,8 segundos
    mmetal.write(55); // retorno
  }
}
void plastico(){ // su programa plastico
  splasticoState = digitalRead(splasticoPin); // realiza leitura da porta de entrada e verifica o estado
  if (splasticoState == LOW){ // se o sensor estiver acionado
    mplastico.write(0); // abri as aletas
    delay(800); // espera 0,8 segundos
    mplastico.write(55); // retorno
  }
}
void vidro(){ // sub programa vidro
  svidroState = digitalRead(svidroPin); // realiza leitura da porta de entrada e verifica o estado
  if (svidroState == LOW){ // se o sensor estiver acionado
    mvidro.write(0); // abri as aletas
    delay(800); // espera 0,8 segundos
    mvidro.write(48); // retorno
  }
}
void loop()
{
  papel(); // chama o sub programa
  metal(); // chama o sub programa
  plastico(); // chama o sub programa
  vidro(); // chama o sub programa
}

```