

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

ETEC SYLVIO DE MATTOS CARVALHO

Curso de Técnico em Mecatrônica

Letícia da Silva

Maria Eduarda dos Santos Toledo

Sara Cristini Fragoso da Silva

Tatieli Heloisa da Costa

**PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO COM ACIONAMENTO
AUTOMÁTICO**

**Matão, SP
2023**

Letícia da Silva

Maria Eduarda dos Santos Toledo

Sara Cristini⁹⁶ Fragoso da Silva

Tatieli Heloisa da Costa

**PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO COM ACIONAMENTO
AUTOMÁTICO**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Curso Técnico em Mecatrônica da Escola Técnica Estadual Sylvio de Mattos Carvalho, orientado pelo Prof. Wesley Soares Camargo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Técnico em Mecatrônica.

**Matão, SP
2023**

RESUMO

O uso de um pulverizador eletrostático com acionamento automático, utiliza a eletrostática para melhorar a eficácia da aplicação de produtos agrícolas. Ao aplicar o produto, as gotículas pulverizadas recebem uma carga elétrica, tornando-se ímãs e fixando-se nas superfícies-alvo, ao invés de dispersarem pelo ar. Isso aumenta a eficiência da aplicação, reduzindo a quantidade necessária de aplicações. No entanto, embora essa tecnologia esteja disponível no mercado, o alto custo dificulta o acesso dos pequenos agricultores familiares, que desempenham um papel significativo no PIB brasileiro. Cerca de 5% da produção agrícola tem origem nessas propriedades de pequenos empreendedores rurais. Isso tem levado a uma necessidade de maior eficiência na produção agrícola, especialmente no controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Atualmente, várias aplicações de agrotóxicos são realizadas nas lavouras durante o ciclo produtivo, aumentando os custos de produção e o risco de contaminação de operadores e do meio ambiente. Portanto, a reprodução dessa tecnologia com baixo custo visa facilitar o acesso dos pequenos agricultores familiares, reduzir a poluição do solo, melhorar a eficiência na produção agrícola e promover a saúde do solo, evitando riscos de contaminação.

Palavras-chave: Pulverizador. Eletrostática. Agrícolas. Pequenos Agricultores. Pragas. Agrotóxicos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral	8
2.2 Objetivos Específico	8
3. DESENVOLVIMENTO	9
REFERÊNCIAS	21
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO PARA ACIONAR O CARRINHO	23
APENDICE B – PROGRAMAÇÃO PARA ACIONAR O PULVERIZADOR	27

1. INTRODUÇÃO

O pulverizador eletrostático com acionamento automático utiliza a eletrostática para realizar a aplicação de forma mais eficaz. Ao pulverizar um produto, as gotículas recebem uma carga elétrica e se transformam em ímãs, fixando-se nas superfícies em vez de dispersarem pelo ar. Isso aumenta a eficiência na aplicação, atingindo áreas normalmente não alcançadas pela pulverização tradicional e reduzindo a necessidade de múltiplas aplicações. No entanto, essa tecnologia ainda é cara, o que dificulta o acesso dos pequenos agricultores familiares, que desempenham um papel importante no PIB brasileiro. (CHAIM; ALDEMIR, 2015)

Cerca de 5% do PIB tem origem nas propriedades desses pequenos empreendedores rurais. Essa situação tem exigido da agricultura uma maior eficiência na produção de grãos, especialmente no controle de pragas, doenças e plantas daninhas. (AFUBRA, 2020)

Nesse contexto, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas tornou-se uma preocupação constante do agricultor, pois, em geral, são realizadas várias aplicações de agrotóxicos nas lavouras durante o ciclo produtivo, onerando o custo de produção, aumentando o risco de contaminação de operadores e meio ambiente. (SILVA; BRUNO, 2013.)

O uso frequente de agrotóxicos nas lavouras durante o ciclo produtivo aumenta os custos de produção, o risco de contaminação dos operadores e o impacto no meio ambiente. Para lidar com o pulverizador eletrostático com acionamento automático utiliza a eletrostática para realizar a aplicação de forma mais eficaz. Ao pulverizar um produto, as gotículas recebem uma carga elétrica e se transformam em ímãs, fixando-se nas superfícies em vez de dispersarem pelo ar. Isso aumenta a eficiência na aplicação, atingindo áreas normalmente não alcançadas pela pulverização tradicional e reduzindo a necessidade de múltiplas aplicações. No entanto, essa tecnologia ainda é cara, o que dificulta o acesso dos pequenos agricultores familiares, que desempenham um papel importante no PIB brasileiro.

É necessário tornar a tecnologia de pulverização eletrostática mais acessível aos pequenos agricultores para reduzir a poluição do solo, melhorar a eficiência da aplicação, aumentar a qualidade dos produtos e preservar a saúde do solo, evitando riscos de contaminação. O objetivo é tornar essa tecnologia mais acessível aos

pequenos empreendedores rurais, trazendo benefícios econômicos, ambientais e de saúde para o desenvolvimento sustentável da agricultura.

A tecnologia de pulverização eletrostática melhora a aplicação de agrotóxicos, reduzindo dispersão e contaminação. O alto custo dificulta o acesso dos pequenos agricultores. Torná-la acessível traria benefícios econômicos, ambientais e de saúde, como menor uso de agrotóxicos, redução de custos e melhoria na qualidade dos produtos.

Seria vantajoso para cultivos importantes, como soja e milho, garantindo a sustentabilidade agrícola e preservando o meio ambiente. A adoção da tecnologia contribuiria para o desenvolvimento sustentável da agricultura, beneficiando tanto os agricultores como a sociedade em geral.

Fazer um pulverizador eletrostático no ensino médio pode ser uma ótima forma de aprender sobre eletricidade estática, princípios de física e aplicar esses conhecimentos na prática.

Um problema comum enfrentado por pulverizadores eletrostático é a falta de uniformidade na distribuição de partículas, mas tudo dependerá do contexto e do tipo de aplicação. Têm uma grande relevância nas nossas vidas acadêmicas devido a tecnologia usada, e as diversas aplicações nas áreas de ciências e engenharia.

Um pulverizador eletrostático possui uma série de relevâncias sociais e práticas devido às suas aplicações em diversas áreas da sociedade e da indústria. Este trabalho contribui na área de plantação da agronomia, com sua alta tecnologia, melhoria na eficiência, economia e precisão da aplicação de produtos agrícolas, como pesticidas, herbicidas, fungicidas e fertilizantes.

A tendência estava na integração de pulverizadores eletrostáticos com tecnologias de precisão, como sensores, sistemas de posicionamento global (GPS) e mapeamento. Isso permitiria a aplicação específica de produtos químicos com base nas necessidades das culturas e nas condições do campo, reduzindo o uso excessivo de produtos químicos.

A discussão sobre a redução do impacto ambiental das práticas agrícolas estava se intensificando. Os pulverizadores eletrostáticos foram considerados parte da solução para minimizar o desperdício de produtos químicos, reduzindo a deriva e melhorando a eficiência da aplicação. Os pulverizadores eletrostáticos requerem energia para gerar a carga elétrica necessária. O debate estava em encontrar maneiras de otimizar a

eficiência energética desses equipamentos para minimizar os custos operacionais e a pegada de carbono associada.

Como qualquer tecnologia, os pulverizadores eletrostáticos estavam sujeitos a pesquisas contínuas e inovações. As discussões estavam centradas em como aprimorar.

Os pulverizadores eletrostáticos carregam as partículas de pulverização eletricamente, o que as atrai de forma mais uniforme para as superfícies alvo. Isso resulta em uma cobertura completa e distribuição eficaz do produto químico, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência da aplicação.

O uso de pulverizadores eletrostáticos leva a economias significativas a longo prazo, tanto em termos de custos de insumos quanto de mão de obra, devido à redução do desperdício de produto químico.

Com uma distribuição precisa dos produtos químicos, os operadores estão expostos a menos substâncias tóxicas, reduzindo os riscos de contaminação e protegendo sua saúde.

A carga eletrostática melhora a aderência às superfícies e a penetração em áreas difíceis de alcançar, garantindo que o produto químico atinja os locais desejados. Pulverizadores eletrostáticos são versáteis e podem ser usados em agricultura, controle de pragas, higienização, pintura e revestimento de superfícies.

A tecnologia eletrostática minimiza a deriva de pulverização, evitando o deslocamento do produto químico para áreas não desejadas. Isso é especialmente importante na agricultura para evitar impactos negativos nos cultivos vizinhos, no meio ambiente e na saúde pública.

O uso de pulverizadores eletrostáticos está alinhado com as regulamentações ambientais e de segurança, visando reduzir o uso de produtos químicos tóxicos e minimizar os impactos negativos no meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um pulverizador eletrostático para aplicação em uma lavoura de grãos.

2.2 Objetivos Específico

- Desenvolver o circuito elétrico do protótipo;
- Desenvolver o circuito eletrônico do protótipo;
- Desenvolver programação lógica do Arduino;

3. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do protótipo de um pulverizador eletrostático foram utilizados diversos materiais. Abaixo segue todos os elementos.

Tabela 1: Lista de material

DESCRIÇÃO DO ITEM	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
Arduino Uno	2	R\$125,00
Bateria 9V	1	R\$4,00
Bateria 12V	1	R\$53,56
Bico nebulizador	10	R\$49,90
Bomba de Aquário	1	R\$19,00
Cabinho Jumper 20cm	40	R\$28,69
Fio de cobre	1	R\$16,00
Indutor	10	R\$0,85
Interruptor	1	R\$8,18
Modulo bluetooth	1	R\$22,00
Modulo Rele	1	R\$19,98
Pilha	4	R\$4,00
Ponte H	1	R\$25,11
Placas de MDF	20	R\$63,50
TOTAL		R\$439,77

FONTE: Próprios autores

O Arduino Uno vai ser usado na automação do pulverizador eletrostático, permitindo o controle preciso da pulverização, ajuste de parâmetros como a pressão e a quantidade de líquido pulverizado, vai ser também controlado a direção do trator, além de possibilitar a integração com outros sistemas.

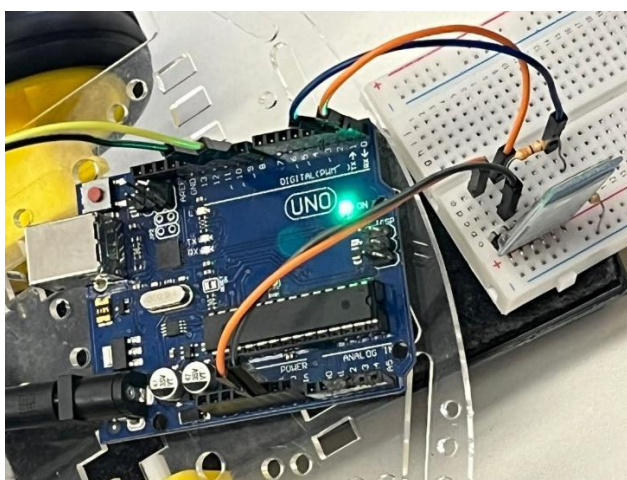


Figura 1: Imagem de um Arduino Uno
FONTE: Próprios autores

Bateria 9V será utilizada para energizar o Arduino que será programado para automatizar o bico.



Figura 2: Bateria 12V
FONTE: Próprios autores

Bateria de 12v será utilizada para energizar o trator.



Figura 3: Bateria 12V
FONTE: Próprios autores

Bico nebulizador será utilizado para pulverizar o produto.



Figura 4: Imagem de bico nebulizador
FONTE: produto.mercadolivre.com.br

Bomba de aquário será utilizada para bombear água para os bicos.



Figura 5: Imagem bomba de aquário
FONTE: Próprios autores

O cabo Jumper será utilizado para fazer as ligações elétricas.



Figura 6: Imagem de Cabos Jumper
FONTE: www.amazon.com.br

A placa de MDF será utilizada no nosso projeto para fabricação da carroceria do caminhão.



Figura 7: Placas de MDF
FONTE: Próprios autores

Fio de Cobre: Será utilizado para conduzir eletricidade.



Figura 8: Imagem de um Fio de cobre
FONTE: techsuleletronicos.com.br/

O interruptor unipolar serve para ligar e desligar um circuito elétrico em um único ponto.

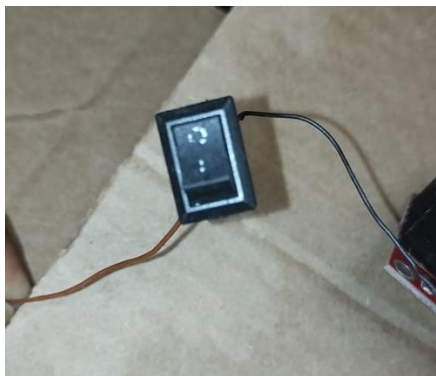


Figura 9: Interruptor
FONTE: Próprios autores

O modulo escolhido será utilizado para o controle do projeto.



Figura 10: Imagem de um modulo bluetooth
FONTE: www.makehero.com/

Modulo rele com entradas para o Arduino, será utilizado para ligar e desligar a bomba

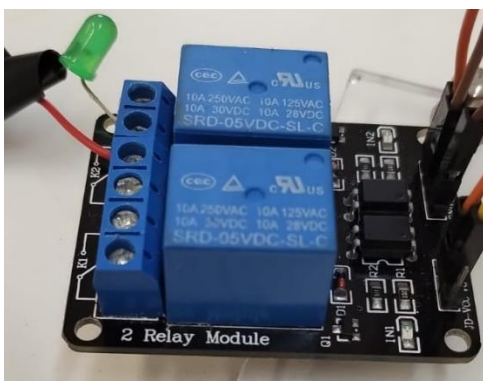


Figura 11: Imagem de um modulo rele
FONTE: Próprios autores

A pilha será utilizada para ativar o botão do pulverizador:



Figura 12: Pilhas
FONTE: Próprios autores

A ponte H é responsável por controlar a direção e a intensidade da corrente elétrica que passa pelo bico de pulverização, permitindo a carga eletrostática nas partículas do produto a ser pulverizado.

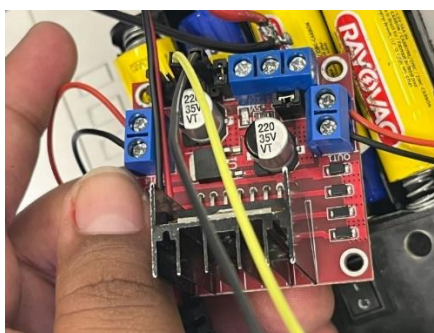


Figura 13: Imagem de ponte H
FONTE: Próprios autores

Nas imagens abaixo, é apresentado a parte elétrica responsável pelo funcionamento do protótipo:

- A primeira imagem mostra o circuito montado para o módulo Bluetooth.
- Na segunda imagem, estão as conexões do Arduino Uno.
- A terceira foto mostra a ligação da ponte H.
- No final todos se ligam para o funcionamento do nosso protótipo de trator.

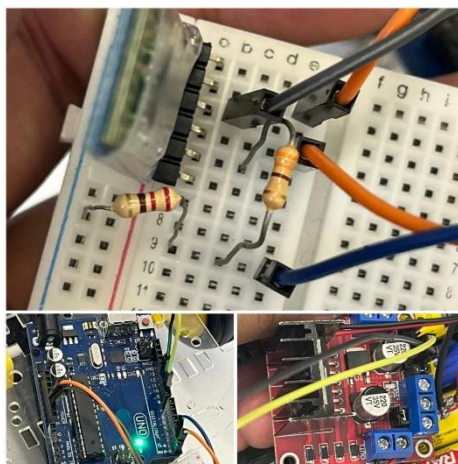


Figura 14: Imagem da parte elétrica do protótipo
FONTE: Próprios autores

Este é o ignitor em que vai deixar o bico do pulverizador com energia elétrica.



Figura 15: Imagem da parte elétrica do protótipo
FONTE: Próprios autores

Aqui está toda a parte elétrica e um dos aplicativos que dá para ser utilizados no deslocamento do protótipo:

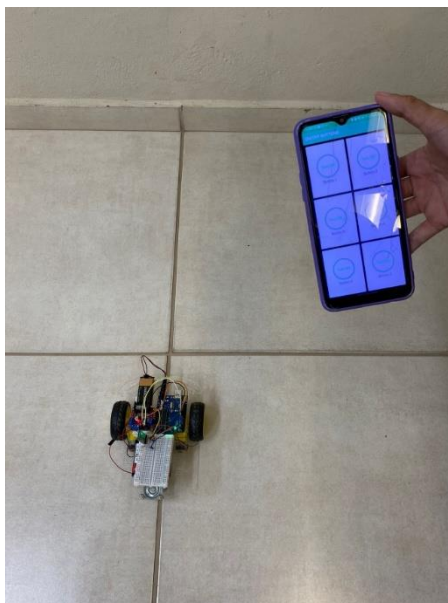


Figura 16: Imagem da parte elétrica do protótipo
FONTE: Próprios autores

Aqui está o aplicativo Arduino Bluetooth Controller:

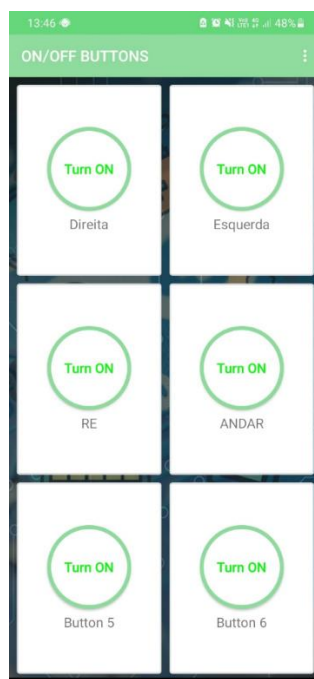


Figura 17: Aplicativo que será utilizado
FONTE: Próprios autores

O circuito que está na imagem abaixo representa o método de aplicação eletrostática, em que utiliza cargas elétricas para melhor aderência e coberturas nas plantas.

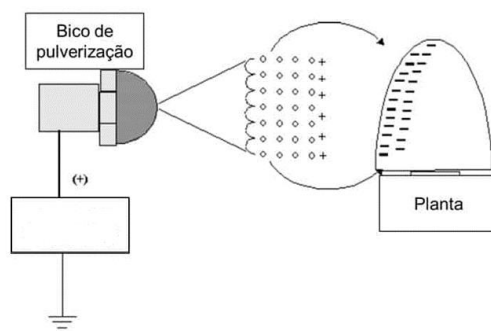


Figura 18: Imagem do funcionamento da pulverização
 FONTE: blog.aegro.com.br/

Abaixo está o circuito que foi utilizado para deixar eletrizado a pulverização.

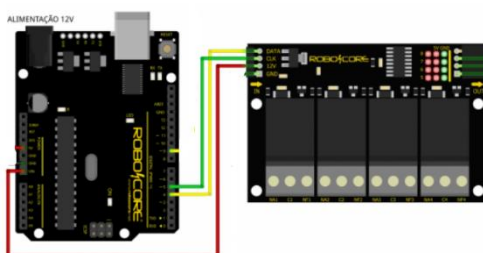


Figura 19: Imagem do funcionamento da eletrização
 FONTE: Próprios autores

A imagem abaixo está relacionada a parte prática da eletricidade; onde no Arduino é armazenada a programação, o módulo bluetooth movimenta o nosso carrinho, a ponte h é utilizada no circuito para controlar a direção e a intensidade da corrente elétrica, e a bateria 12V é para energizar o circuito.

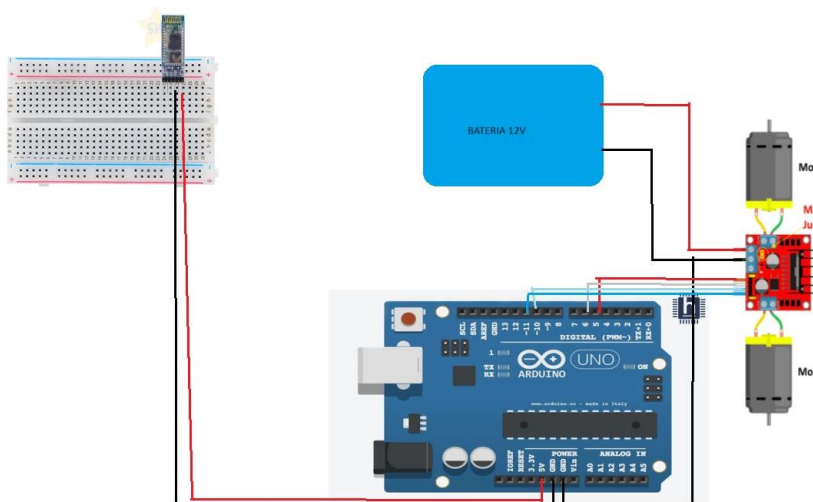


Figura 20: Circuito Elétrico
 FONTE: Elaborado pelos próprios alunos

Na imagem abaixo está algumas das placas desenhadas para ser cortada:



Figura 21: Placa de MDF desenhada
 FONTE: Próprios autores

Nas 4 primeiras imagens são placas estão sendo cortadas na máquina serra de fitas e na última imagem é uma lixadeira de cinta:

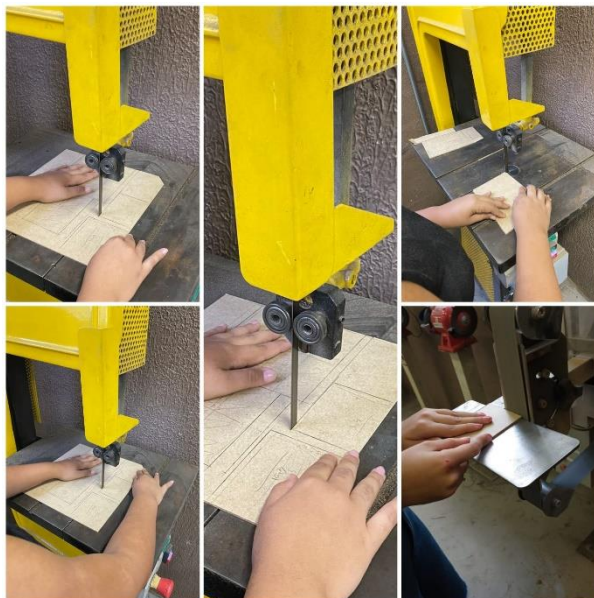


Figura 22: Placa de MDF sendo cortadas
FONTE: Próprios autores

Foi utilizada uma programação logica no Arduino, para que nosso carrinho consiga se mover através de um aplicativo pelo celular, a programação completa está disponibilizada no Apêndice A.

Foi utilizada outra programação logica do Arduino, onde aciona o pulverizador eletrostático. programação completa está disponível no Apêndice B.

Na Imagem abaixo está o projeto final, onde é exibida a estrutura de MDF e o pulverizador.

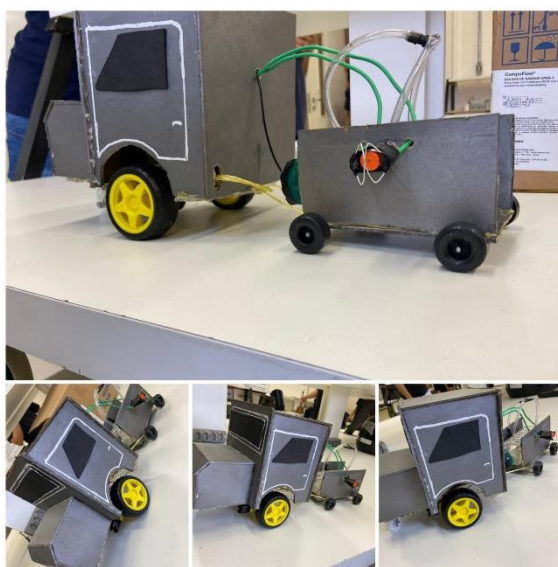


Figura 23: Próprios autores
FONTE: Próprios autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste ano, investimos muito tempo na concepção e desenvolvimento desse protótipo avançado de pulverizador eletrostático destinados a aplicação em lavouras de grãos. Os objetivos ilustrados foram cuidadosamente abordados, e os resultados obtidos representam um passo significativo em direção mais eficientes e sustentável para agricultura moderna.

O primeiro objetivo consistiu no desenvolvimento do protótipo em si, levando em consideração as particularidades das lavouras de grãos. Este processo envolveu a integração de tecnologia eletrostática, garantindo uma aplicação precisa e eficaz dos insumos agrícolas. A construção do dispositivo, aliada a testes práticos, permitiu validar a viabilidade do conceito, fornecendo compreensões valiosos para futuras interações e otimizações.

Outro aspecto crítico abordado foi a elaboração do circuito elétrico do protótipo. A eficácia do sistema eletrostático depende profundamente de uma implementação elétrica desenvolvida. Neste contexto, desenvolvemos um circuito que não apenas atendeu às exigências técnicas, mas também incorporou medidas de segurança e eficiência energética. Essa abordagem visa não apenas a funcionalidade imediata, mas também a sustentabilidade a longo prazo do sistema.

O terceiro objetivo concentrou-se no desenvolvimento do circuito eletrônico do protótipo, uma etapa crucial para a automação e controle preciso do processo. A utilização do Arduino como plataforma de programação lógica proporcionou flexibilidade e adaptabilidade ao sistema. A programação lógica elaborada não apenas assegurou o funcionamento harmônico de todos os componentes.

Em síntese, o alcance destes objetivos não apenas resultou na criação de um protótipo funcional, mas também estabeleceu as bases para avanços futuros na aplicação da tecnologia eletrostática em lavouras de grãos. Este trabalho contribui não apenas para o desenvolvimento de soluções práticas e eficazes na agricultura, mas também reforça a importância da interdisciplinaridade entre engenharia elétrica, eletrônica programação e design mecânico. Acredita-se que este protótipo seja um ponto de partida para inovações que possam redefinir as práticas agrícolas, promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente no manejo de cultivos.

REFERÊNCIAS

BRINCANDO COM IDEIAS.COMO PROGRAMAR UM GARRINHO PROGRAMADO PELO CELULAR-LOGICANDO. Youtube 16 de maio de 2020.Disponível em <https://www.youtube.com/live/JoiLUhco4Ks?si=hRkextU3uDuxecSy>. Acesso em: 09/04/2023.

BULGARELLI, Roberval. **Os riscos de ignição relacionados com a geração e o acúmulo de eletricidade estática em atmosferas explosivas**. 2019. Disponível em: <https://www.oseletrico.com.br/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

CHAIM, Aldemir *et al.* **Artigo - Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 09 nov. 2023.

CIÊNCIA ESCRITA. MATERIAIS E MÉTODOS-COMO ESCREVER ESTA SEÇÃO EM ARTIGOS CIENTÍFICOS E RELATÓRIOS TÉCNICOS. Youtube 29 de julho de 2021. Disponível em <https://youtu.be/EUKXGVOAbRo?si=AA6pcxZjNgN8Ap1h>. Acesso em: 19/03/2023.

ELECTRÓNICA PRÁCTICA PASO A PASO.ELEVADOR DE VOLTAJE MINIATURA. 3 A 500 VOLT. Youtube 31 de outubro de 2017. Disponível em <https://youtu.be/6zhGlx6tplw?si=HHBSG718GX6D2Upv>. Acesso em: 09/11/2023.

MAXMAQ. PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA – COMO FUNCIONA? Youtube 20 de abril de 2020. Disponível em <https://youtu.be/yCgxRak5HDo?si=PqK4Y0pRRYPLDvjI>. Acesso em: 08/03/2023.

NERY, Gustavo *et al.* **Robô com Controle Remoto via APP Android**. 2020. Disponível em: <https://blog.eletragate.com/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

PI, Raspberry. **Tutorial carrinho arduino controlado por bluetooth**. 2019. Disponível em: <https://www.daeletrica.com.br/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

PULVERIZAÇÃO ELETROSTATICA POR ELETRIFICAÇÃO DIRETA.EMBRAPA,2005. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2788/pulverizacao-eletrificacao-direta>. Acesso em: 15/02/2023.

RISCALA, Roberto. **Conheça as principais pragas de jardins e hortas e saiba como evitá-las**. 2021. Disponível em: <https://revistacasaed Jardim.globo.com/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

RJ EDIT ALL.3 VOLT 40000 VOLT // HOW TO MAKE HIGH VOLTAGE GENERATOR AT HOME. Youtube 13 de maio de 2020. Disponível em <https://youtu.be/hmGm2GbxBUY?si=OKwDWRcSksO4A7S>. Acesso em: 27/09/2023.

SANTORO, Marcelo. **Entenda os princípios e benefícios da pulverização eletrostática na agricultura**. 2023. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

SCHWANKE. **Agronegócio é responsável por 21,1% do PIB do Brasil**: número comprova a contribuição do setor para o desenvolvimento econômico do país. Número comprova a contribuição do setor para o desenvolvimento econômico do país. 2020. Disponível em: https://afubra.com.br/content/texto_file/Revista%20Expoagro%202020.pdf. Acesso em: 18 nov. 2023.

SERAFIM, Milson E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, 2013. Acesso em: 08/11/2023.

VICENTE, Marcos. **Cientistas desenvolvem o primeiro pulverizador eletrostático que pode ser levado nas costas**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 09 nov. 2023.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO PARA ACIONAR O CARRINHO

```
#define M1 9
```

```
#define M2 11
```

```
#define dir1 8
```

```
#define dir2 10
```

```
int velocidade = 255;
```

```
String voz;
```

```
int led = 2;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(M1, OUTPUT);
```

```
  pinMode(M2, OUTPUT);
```

```
  pinMode(dir1, OUTPUT);
```

```
  pinMode(dir2, OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(dir1, LOW);
```

```
  digitalWrite(dir2, LOW);
```

```
  pinMode(led, OUTPUT);
```

```
}
```

```
void moverFrente() {
```

```
    analogWrite(M1, velocidade);  
    analogWrite(M2, velocidade);  
}
```

```
void parar() {  
    analogWrite(M1, 0);  
    analogWrite(M2, 0);  
}
```

```
void loop(){
```

```
    while (Serial.available()) {  
        delay(10);  
        char c = Serial.read();  
        if (c == '#') {  
            break;  
        }  
        voz += c;  
    }
```

```
    if (voz.length() > 0) {  
        Serial.println(voz);  
        if (voz == "*esquerda") {  
            digitalWrite (M1, velocidade);  
            digitalWrite (dir1, 0);
```



```
digitalWrite (dir2, 0);
digitalWrite (M2, 0);
}
else if (voz == "*parar esquerda") {
    digitalWrite (M1, 0);
}
else if (voz == "*direita") {
    digitalWrite (M2, velocidade);
    digitalWrite (M1, 0);
    digitalWrite (dir1, 0);
    digitalWrite (dir2, 0);
}
else if (voz == "*parar direita") {
    digitalWrite (M2, 0);
}
else if (voz == "*andar") {
    digitalWrite (M2, velocidade);
    digitalWrite (M1, velocidade);
    digitalWrite (dir1, 0);
    digitalWrite (dir2, 0);
}
else if (voz == "*parar") {
    digitalWrite (M2, 0);
    digitalWrite (M1, 0);
    digitalWrite (dir1, 0);
    digitalWrite (dir2, 0);
}

else if (voz == "*re") {
```

```
digitalWrite (M2, 0);  
digitalWrite (M1, 0);  
digitalWrite (dir1, velocidade);  
digitalWrite (dir2, velocidade);  
}  
  
voz = "";  
}  
  
}
```

APENDICE B – PROGRAMAÇÃO PARA ACIONAR O PULVERIZADOR

```
void setup()
{
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
}
```

```
void loop()
{
  digitalWrite(7, LOW);
  delay (1000);

  digitalWrite(8, LOW);
  delay (10000);

  digitalWrite(7, HIGH);
  digitalWrite(8, HIGH);
  delay (1000);
}
```