

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (6)

June 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14620211284>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1284>



Adaptação de dosadores elétricos para distribuição precisa de fertilizantes com adubadora microtratorizada

Adaptation of electrical dosers for accurate distribution of fertilizers with microtractorized fertilizer

Jusimara Andrade Santos

Universidade Federal de Sergipe
jusimara.ufs@gmail.com

Wellington Gonzaga do Vale

Universidade Federal de Sergipe

Edson Patto Pacheco

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Aurélio Lima Barreto

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Adilson Machado Enes

Universidade Federal de Sergipe

Resumo. O presente trabalho trata da adaptação de motores elétricos e eletrônica arduino em uma adubadora microtratorizada para distribuição precisa de fertilizantes com equipamentos de pequeno porte e baixa potência. O sistema de aplicação de fertilizante do protótipo projetado conta com um sistema controlador capaz de atuar na velocidade de rotação do motor de acionamento do dosador a partir dos dados enviados pelo operador via Bluetooth, e assim, aplicar de maneira controlada o fertilizante no solo. O microcontrolador usado foi o Arduino uno que coordena os dispositivos e realiza a manipulação dos dados obtidos, além de um circuito ponte H para controle dos motores elétricos. O mecanismo dosador utilizado foi do tipo helicoidal “rosca sem fim” construído em impressora 3D e conexões em PVC para os tubos de descarga. Com o protótipo pronto foram realizados ensaios de distribuição com atuador elétrico em laboratório para validação do dosador. A equação de calibração foi determinada por meio de dados estatísticos obtidos com os testes realizados para calibração. Com o fim do trabalho pode-se concluir que o sistema de dosadores é um equipamento de pequeno porte e de fácil operação e com custo acessível para pequenos e médios produtores.

Palavras-chaves: agricultura de precisão, adubação, dosador de fertilizante, arduino.

Abstract. The present work deals with the adaptation of arduino electric motors and electronics in a microtractor fertilizer for precise distribution of fertilizers with small size equipment and low power. The prototype fertilizer application system designed has a controller system capable of acting at the speed of rotation of the feeder drive motor from the data sent by the operator via Bluetooth, and thus apply the fertilizer in a controlled manner in the soil. The microcontroller used was the Arduino uno that coordinates the devices and performs the manipulation of the obtained data, as well as an H bridge circuit to control the electric motors. The dosing mechanism used was the “endless thread” helical type built in 3D printer and PVC connections for the discharge pipes. With the prototype ready, distribution tests were performed with electric actuator in the laboratory to validate the doser. The calibration equation was determined by statistical data obtained from the tests performed for calibration. With the end of the work it can be concluded that the dosing system is a small size equipment and easy to operate and affordable cost for small and medium producers.

Keywords: precision agriculture, fertilization, fertilizer dosing, arduino.

Introdução

A unidade de fertilização automatizada é considerada um fator crucial no campo da Agricultura de Precisão (AP). No entanto, existe a necessidade do desenvolvimento de sistemas automatizados para distribuição precisa de fertilizantes voltados a pequenas propriedades, mais comumente empregados ao pequeno e médio produtor rural. De modo que garantam a produtividade sejam mais simples, eficientes e apresentem um baixo custo de implementação.

A AP tem se beneficiado com a automação de máquinas e implementos agrícolas por meio do uso de sistemas eletrônicos embarcados compostos por programas de computadores, dispositivos eletrônicos e de hardware (QUEIRÓS et al, 2014). Estudos recentes demonstram que a evolução e desenvolvimento de novas tecnologias elevarão os índices de produtividade, da eficiência do uso de insumos, promoverão a redução de custos com mão de obra, a qualidade do trabalho, a segurança dos trabalhadores e a diminuição dos impactos ao meio ambiente. Por esta razão, as Tecnologias de Informação e Comunicação aplicadas à agricultura (AgroTIC) tem sido estudado como uma potencial ferramenta para a AP e automação de processos agrícolas, bem como para aplicações de fertilizantes (KHAN et al, 2018) e na dosagem de fertilizantes (GARCIA, 2007) e (XU et al., 2015).

A dosagem de fertilizantes representa uma etapa importante no processo de semeadura de qualquer cultura. Para esta operação são usadas semeadoras-adubadoras, que são máquinas que têm a função de colocar simultaneamente a semente e o fertilizante no solo. (BALASTREIRE, 1987). Em relação ao mecanismo de aplicação de fertilizantes, o sistema é composto por um mecanismo dosador. Atualmente existe no mercado o mecanismo dosador em diferentes características, sendo o mais utilizado o dosador helicoidal conhecido como “rosca sem fim” (FRANCETTO, 2012).

No mercado de semeadoras-adubadoras, muitos fabricantes utilizam como dosador de fertilizantes sólidos, modelos acionados hidráulicamente e sem controle individual, não permitindo otimizar o uso de fertilizantes aplicando dosagens exatas e precisas de acordo com as reais necessidades do solo (RASIA, 2017). Os mecanismos, no que tange a aplicação de fertilizante, se mostram pouco precisos e de difícil regulação de operação. Sistemas de acionamento elétrico e controle eletrônico seria uma opção relevante na substituição de certos conjuntos mecânicos existentes de semeadora-adubadora (GARCIA, 2007).

Diante dos fatos apresentados e da importância da distribuição precisa de fertilizantes e percebendo a necessidade do desenvolvimento de

sistemas automatizados voltados a pequenos e médios produtores rurais, o presente trabalho teve como objetivo a adaptação de dosadores elétricos em uma adubadora microtratorizada, utilizando uma plataforma arduino para automação na distribuição precisa de fertilizantes com equipamentos de baixo custo de obtenção para pequeno e médio produtor rural.

Métodos

O desenvolvimento dos dosadores elétricos para distribuição precisa de fertilizantes foi realizado no Laboratório de Automação Agropecuária (LAA), pertencente a Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Para a adaptação proposta foi necessária a utilização de alguns dispositivos eletrônicos, sendo eles, a placa Arduino UNO que atua como núcleo do sistema, é responsável por fazer com que todos os dispositivos operem adequadamente para atingir o objetivo deste trabalho. A Ponte H é responsável pelo controle da velocidade dos motores DC, que usa o sinal PWM como entrada de tensão, mantendo o torque ainda que em baixas velocidades, o que garante partidas suaves mesmo quando há uma carga maior sobre os motores. O módulo Bluetooth fornece uma interface serial para que o microcontrolador possa enviar e receber os dados de dosagem de fertilizante em kg/ha, o aplicativo BT Terminal Free para dispositivo celular android, representa uma interface homem-máquina, permitindo que o operador informe parâmetros necessários durante a operação de aplicação de fertilizantes e também pela exibição dos dados enviados ao microcontrolador. O Regulador de voltagem com capacidade de 16 A, que aumenta a voltagem de acordo com o uso, permite realizar os testes com uma tensão de 14,5V, equivalente à tensão de saída vinda do trator, fornecendo uma tensão constante para calibração.

O mecanismo dosador utilizado foi do tipo helicoidal rosca sem fim produzido em impressora 3D, com coletores também impressos em 3D, tubos e conexões de PVC, esses foram adaptados ao depósito de adubo já existente da adubadora; além desses dispositivos há também uma bateria automotiva que fornece uma tensão de 12 V e uma capacidade de 60 Ah, usada como fonte para alimentar o circuito do sistema dosador durante os testes realizados em laboratório.

A construção dos dosadores é constituída não só dos dispositivos de hardware, mas também contém o programa desenvolvido para o microcontrolador elaborado em linguagem C++, que realizou o controle dos motores elétricos e todos os dispositivos eletrônicos que o compõem. A Figura 1 ilustra o diagrama de montagem do sistema de dosagem proposto, que compõe os dispositivos descritos acima e a forma como que cada componente é interligado e como interagem entre si.

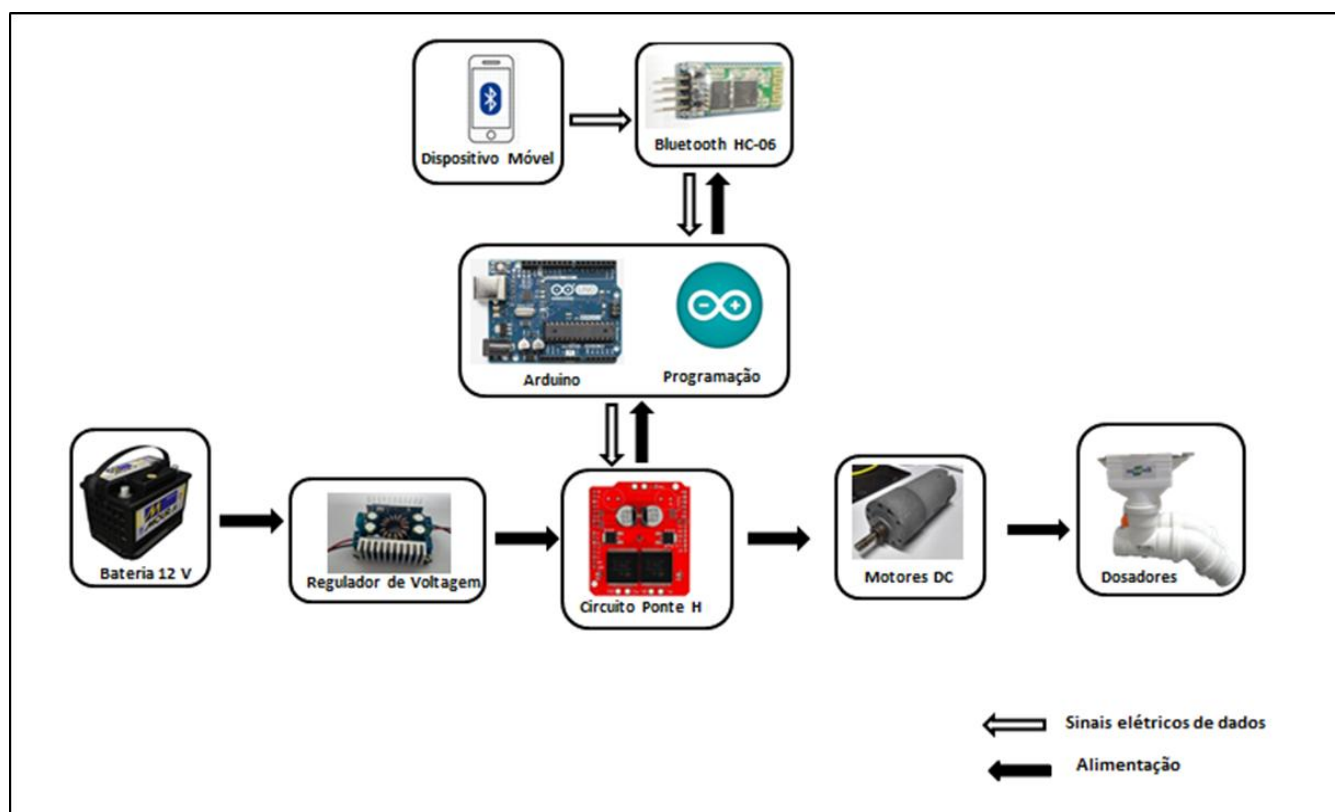


Figura 1. Diagrama de montagem do Sistema de dosagem.

O primeiro passo para a adaptação física do dosador elétrico na adubadora microtratorizada, se deu na construção de um mecanismo dosador de fertilizante do tipo helicoidal sem fim com eixo sólido para a distribuição precisa de fertilizante.

Para o desenvolvimento deste dosador utilizou-se de uma ferramenta gratuita e online de design de modelos 3D em CAD o TINKERCAD4, também usado para simulação de circuitos elétricos analógicos e digitais, desenvolvida pela Autodesk. A criação do dosador helicoidal iniciou-se com a espiral do formato do helicóide com passo de rosca de 34 mm, espessura de 2,50 mm e diâmetro de 45,79 mm. Após o desenho da espiral foi desenhado o eixo sólido no centro da helicóide com diâmetro 11,58 mm e comprimento total de 123 mm, e no centro do eixo foi desenhada uma abertura de 6 mm para o acoplamento do eixo da fonte motora.

Os materiais foram confeccionados em uma impressora 3D da marca Creality 3D® modelo Ender-3. Por se tratar da fabricação de um protótipo optou-se por este tipo de confecção devido ao tempo reduzido de produção e a redução na quantidade de material necessário comparados aos métodos tradicionais de fabricação.

O material utilizado para impressão foram filamentos de PLA (Ácido Polilático) por ser um dos materiais mais utilizados na impressão 3D. Esse material é um polímero termoplástico, e por ser derivado de fontes naturais como o milho e a cana de açúcar, é também chamado de bioplástico e possui o diferencial de ser renovável, ao contrário da maioria dos outros termoplásticos que derivam do petróleo. A Figura 2 mostra a rosca helicoidal

impressa em 3D.



Figura 2. Rosca helicoidal.

Para o dimensionamento da rosca helicoidal foi utilizada a equação 1.

Equação (1)

$$Q = 0,006545 \times P \times (D^2 - d^2) \times R \times Pe$$

Em que: Q = a vazão do produto (g/s); D = o diâmetro maior (cm); d = o diâmetro menor (cm); R = rotação do motor em (RPM); Pe = o peso específico do produto (g/cm³); P = passo (cm).

Da mesma forma que a rosca sem fim, o coletor também foi confeccionado em impressora 3D. Com uma sessão de 10 cm x 13 cm, altura de 10,5 cm, diâmetro interno do tubo de 43 mm e diâmetro externo 51 mm. Como observado na Figura 3.



Figura 3. Vista Frontal e Superior do Coletor.

Para os tubos de descarga, foram utilizadas conexões em Tê e Joelhos de PVC Rígido como pode ser visto na Figura 4, com DN= 50x40mm. Para vedação foi confeccionado um “cap” (tampa) impresso em 3D para fechamento do tubo de descarga e acoplamento do motor.



Figura 4. Conexões de PVC.

Para uso do depósito já existente a adubadora foi necessário realizar uma adaptação em sua base, de modo que eliminasse a inclinação (ângulo de repouso) formada pelo adubo. Para isso, utilizou-se de um material cônico impresso em 3D, o que regularizou a dosagem para os dois dosadores. Uma peça no formato semicircular também impressa em 3D foi alocada no bocal de saída do mecanismo dosador para controle e homogeneização do fluxo de descarga do fertilizante, reduzindo os “pulsos” gerados pelo helicóide.

O software do microcontrolador foi desenvolvido para o processamento dos sinais elétricos recebidos pela placa do arduino gerados

pela ponte H, módulo Bluetooth e pela saída PWM dos motores DC. O programa elaborado para o funcionamento da solução proposta deve permitir ao usuário aplicar doses de fertilizantes à TV conforme o sistema controlador varia a velocidade de rotação do motor elétrico.

O sistema de Interface Homem Máquina (IHM) utilizado neste trabalho é composto por um dispositivo móvel e o aplicativo, “Serial Terminal BT (Free)” para comunicação via Bluetooth com o módulo Bluetooth HC-06. Esses componentes possuem dois propósitos, sendo eles, possibilitar a exibição de dados enviados para o microcontrolador e realizar a entrada de dados para acionamento do sistema.

Para a calibração dos dosadores foi coletado o fertilizante sólido de acordo com um intervalo de valores de dose já estabelecidas em função do PWM. Cada repetição foi composta por um período de coleta de 30 segundos. O tempo de coleta foi cronometrado com a utilização de um cronômetro e coletando o fertilizante com um balde. Após a coleta, o material foi pesado em uma balança de precisão e os valores transcritos em planilha eletrônica para posteriores cálculos e análises estatísticas. Para os testes de calibração foi usado o fertilizante nitrogenado YaraBela da Yara Brasil S.A, o qual permite uma distribuição homogênea. Neste ensaio com o protótipo foi utilizada apenas uma altura do nível de fertilizante no reservatório da adubadora, com o equipamento abastecido entre 40 e 50% da capacidade do reservatório, como definido pela ASAE (1995).

Resultados e discussão

A partir dos valores em média obtidos com os testes de distribuição de fertilizantes foi elaborado o gráfico da Figura 5, onde pode ser observada a equação de calibração mais adequada que relaciona PWM de entrada do motor DC e a vazão em g/s, para a dosagem a taxa variável de fertilizantes.

É possível verificar que a correlação entre os dados obtidos foi elevada com valor de R^2 de 0,9953, isso significa que a variação percentual de PWM em função da vazão é polinomial e crescente, e que representa os valores de PWM com ótima precisão, podendo ser considerado adequado para o controle dos dosadores durante operação de adubação. Dessa forma o sinal de saída PWM foi configurado utilizando a Equação 2, de calibração do dosador usada no programa.

$$PWM = ax^2 - bx + cr \quad \text{Equação 2}$$

Em que PWM é a resposta obtida pela variação dos valores codificados, os valores de „a“, „b“ e „cr“ são estimadores dos valores obtidos pelo experimento e a variável „x“ representa os valores dos fatores codificados representada na solução do programa.

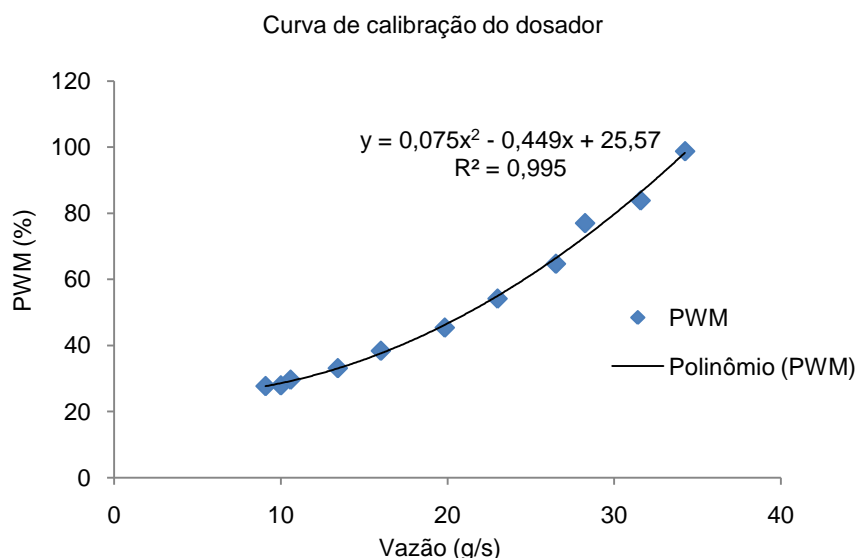


Figura 5. Sinal PWM como entrada de tensão dos motores versus Vazão.

Sendo x a variável da dose, a vazão (Q) é calculada pela Equação 3:

$$Q = \frac{\text{Dose}}{20} \times \text{velmaq} \quad \text{Equação 3}$$

Em que a Dose (kg/ha) é a variável de entrada fornecida pelo operador via Bluetooth que considerando um espaçamento entre linhas de 5 cm é dividida por 20, obtendo a dosagem em g/m que multiplicada pela velocidade da máquina (velmaq) tem-se a vazão do produto em g/s. A velocidade da máquina para este trabalho foi considerado uma constante igual a 1,4 m/s, o que equivale a velocidade de operação do trator a 5 km/h. Posteriormente essa velocidade da máquina poderá corresponder a uma variável de entrada para velocidade via GPS.

Os resultados desse experimento para calibração dos dosadores podem ser observados na Tabela 1.

A primeira coluna da Tabela 1 representa os valores percentual de PWM calculado pela Equação 2 em função da Vazão. As outras colunas representam os valores de vazão do produto em (g/s) e a média obtida durante o teste com três repetições. Pode-se notar que a vazão cresce gradativamente à medida que a porcentagem de PWM aumenta como esperado.

O protótipo do dosador elétrico consistiu em um equipamento que realiza de forma automática a aplicação de fertilizantes de acordo com a dosagem estabelecida pelo operador. Para todo o dispositivo se comunicar e para ser ter uma minimização de fiação, o circuito ponte H foi acoplado em cima da placa do arduino, como pode ser observado na Figura 6.

Tabela 1. Ensaio de validação dos dosadores usado para calibração.

% de PWM	Q (g/s)	Q (g/s)	Q (g/s)	Média
	RI	RII	RIII	
27,74	9,1	9,1	8,0	8,7
27,95	10,0	9,3	8,8	9,4
29,67	10,6	9,2	10,3	10,0
33,16	13,4	10,5	10,5	11,5
38,42	16,0	13,3	12,3	13,9
45,43	19,8	15,6	15,3	16,9
54,21	23,0	19,8	20,7	21,2
64,75	26,5	22,7	23,1	24,1
77,05	28,3	25,6	25,1	26,3
83,90	31,6	26,7	25,9	28,1
98,80	35,9	31,3	31,6	32,9

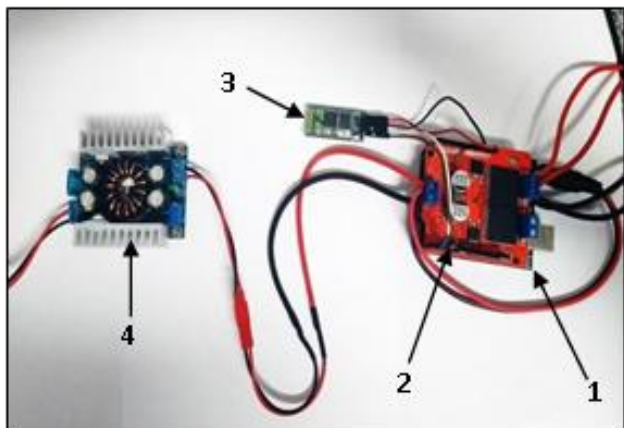


Figura 6. Hardware do protótipo.

Ainda na Figura 6 segue a indicação dos seus componentes: 1. Microcontrolador Arduino, 2. Circuito ponte H, 3. Módulo Bluetooth e 4. Regulador de Tensão.

A Figura 7 apresenta a adaptação construída. Introduzindo no depósito (A) o fertilizante, desce por gravidade até o coletor (B) e chega aos dosadores que estão no interior da Conexão em Tê (C) que dependendo da rotação controlada pelo motor elétrico (D), aumenta ou diminui a vazão do fertilizante em função da rotação do motor, que segue pela conexão em joelho (E) que por transbordo descarrega o produto no solo.



Figura 7. Dosador elétrico construído.

Com o sistema eletrônico alimentado e ligado a máquina, o módulo deve ser conectado com sucesso ao aplicativo Serial Terminal BT do dispositivo móvel. Feito isso, será exibida na tela a mensagem “Oi, digite o valor da dose com três números”, como mostrada na Figura 8. Em seguida o operador digita o valor da dose desejada em kg/ha

e pressiona a tecla enviar, após essas etapas o sistema dos dosadores é acionado.

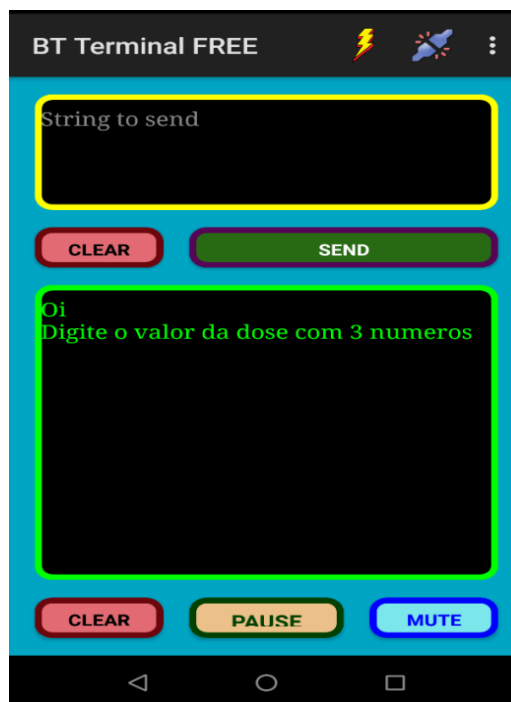


Figura 8. Tela inicial de comando.

O microcontrolador atua na velocidade de rotação do motor de acionamento do dosador, utilizando os dados de velocidade definido no programa e dos dados enviados pelo operador. O sistema de controle proposto opera com a relação obtida por meio do modelo matemático do mecanismo dosador que relaciona as variáveis de entrada (Dose) com a variável de saída (Vazão).

O controle da taxa de aplicação é realizado pela variação da tensão de alimentação do motor, por meio do sinal PWM, que regula a rotação do eixo de acionamento do dosador. Esta rotação define a taxa de aplicação de fertilizante, que com a variação da rotação aumenta ou diminui a quantidade de fertilizante liberado, seguindo recomendação de aplicação da cultura em questão e com isso aplica o fertilizante no solo de maneira controlada.

A depender da dose inserida pelo operador o sistema não é acionado, uma vez que a dose tem seus limites de mínimo e máximo controlados, permitindo ao operador um valor de dosagem que variam de 50 kg/ha a 800 kg/ha, além dos valores validos do PWM.

Para esse sistema de dosadores elétricos cabe ao operador apenas informar ao sistema a dose de aplicação recomendada pelo técnico através da digitação do valor. Após acionado o sistema, a dosagem continuará até que o operador digite “000”, nesse momento a liberação do fertilizante é encerrada.

Para desenvolver o código de programação do microcontrolador utilizou-se uma plataforma de

código aberto Arduino Software IDE, no qual o código é escrito em uma linguagem C++. Na Figura 9 é apresentado um trecho do código de programação do protótipo.

Na Tabela 2 pode-se notar que o preço médio do conjunto de todos os equipamentos é R\$ 648,06, e grande parte do custo é devido aos motores elétricos. Ainda assim, esse custo é relativamente baixo se comparando com as máquinas utilizadas para aplicação de fertilizantes a taxa variável.

A bateria foi utilizada somente como fonte de alimentação durante os testes realizados em laboratório, sendo assim, o custo da bateria não foi incluso no orçamento, uma vez que a alimentação será acionada pelo motor do microtrator quando em campo.

A Tabela 2 apresenta os custos estimados para desenvolvimento do protótipo, valores baseados em consultas em sites de venda de eletrônicos obtidos no dia 13 de junho de 2019.

```

144
145 //dose = digitado.toInt();
146 dose = entradaBT.toInt();
147
148 if (dose == 0) {
149     motorOff(0);
150     motorOff(1);
151 }
152
153 if (dose >= 50 && dose <= 800) {
154     q = (dose/20)*velmaq;
155     a2x = a*(q*q);
156     bx = b*q;
157     cr = c;
158     pwm = a2x + bx + cr;
159     /*Serial.print("a=");
171
172     Serial.print("pwm=");
173     Serial.println(pwm);
174
175     if (pwm >= 25 && pwm <= 100) {
176         motorGo(0, CW, pwm* 2.55);
177         motorGo(1, CW, pwm* 2.55);
178     }
179 }
    
```

Figura 9. Código de programação do protótipo.

Tabela 2. Custos dos materiais.

Material	Qty	Valor Unitário R\$)	Valor Total (R\$)	% do Valor
Arduino UNO Atmega328 Rev3 R3	1	26,10	26,10	4
Conexão Joelho 45° PVC rígido	4	1,62	6,48	1
Conexão Tê curto PVC rígido	4	4,50	18,00	3
Filamento PLA rolo de 1kg	1	120,00	120,00	18
Micromotor DC	4	62,90	251,60	39
Módulo Bluetooth HC-06	1	23,99	23,99	4
Monster Moto Shield Ponte H	1	99,00	99,00	15
Pacote de fios jumpers.	1	12,99	12,99	2
Regulador de voltagem step UP	1	89,00	89,90	14
Total			648,06	100

Conclusão

O sistema de dosadores elétricos desenvolvido é um equipamento de pequeno porte, baixa potência, alta precisão de operação e de fácil instalação, aproximando-se na medida do possível, o protótipo de uma situação real de implantação com custo acessível para pequenos e médios produtores.

Referências

BALASTREIRE, L. A. Máquinas agrícolas. 1. ed. São Paulo: Manole, 1987. 307p.

FRANCETTO, T. R. et al. Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil. In: X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CLIA/CONBEA. Londrina - PR, 5.p, 2012.

GARCIA, Angel Pontin et al. Desenvolvimento de um sistema de controle eletro-mecânico para dosador de fertilizantes. 2007.

KHAN, Nazmuzzaman et al. GPS Guided Autonomous Navigation of a Small Agricultural Robot with Automated Fertilizing System. SAE Technical Paper, 2018.

QUEIRÓS, Leonardo Ribeiro et al. Análise das possibilidades e tendências do uso das tecnologias da informação e comunicação em

Agricultura de Precisão. Embrapa Informática Agropecuária-Capítulo em livro científico(ALICE), 2014.

RASIA, Antonio. Projeto conceitual de dosador a taxa variável com acionamento elétrico 1. conceptual design of a variable rate doser with electric operation. 2017.

XU, Taosheng et al. A novel variable rate fertilization system based on the Android platform. In:2015 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC). IEEE, 2015. p. 395-398.