

ÁLVARO LEONEL RODRIGUES DA ROSA JUNIOR

RESPOSTA ELÉTRICA DE UM SENSOR INFRAVERMELHO AO
FLUXO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
MARÇO – 2019

ÁLVARO LEONEL RODRIGUES DA ROSA JUNIOR

RESPOSTA ELÉTRICA DE UM SENSOR INFRAVERMELHO AO
FLUXO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Flávio Gurgacz

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Rosa Junior, Álvaro Leonel Rodrigues da
Resposta elétrica de um sensor infravermelho ao fluxo de fertilizantes agrícolas / Álvaro Leonel Rodrigues da Rosa Junior; orientador(a), Flávio Gurgacz, 2019.
62 f.

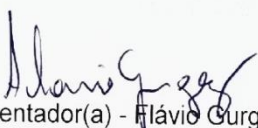
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

1. Fertilizantes Agrícolas. 2. Agricultura de Precisão.
3. Sensores Ópticos. 4. Eletrônica Aplicada na Agricultura.
I. Gurgacz, Flávio. II. Título.

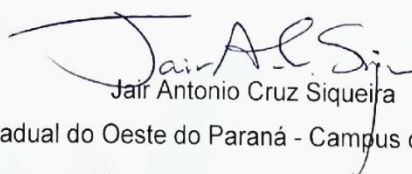
ALVARO LEONEL RODRIGUES DA ROSA JÚNIOR

Resposta elétrica de um sensor infravermelho ao fluxo de fertilizantes agrícolas

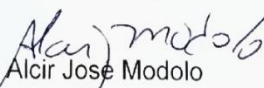
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biocombustíveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Flávio Gurgacz

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Alcir José Modolo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Pato Branco (UTFPR)

Cascavel, 22 de março de 2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família por todo o apoio que me foi dado no decorrer da minha vida.

Agradeço a todos os professores que já tive e que me moldaram da melhor forma que conseguiram.

Agradeço ao meu orientador do mestrado o Dr. Flávio Gurgacz por tudo que fez para me auxiliar nas etapas do mestrado e, principalmente, pela paciência em lidar com a minha pessoa.

Agradeço à instituição de ensino, à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade que me foi concedida.

Agradeço aos meus companheiros de mestrado pelo breve tempo que tivemos de convivência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de macronutrientes (kg) absorvidos por 250.000 pl.ha ⁻¹ em função do desenvolvimento do feijoeiro.	5
Figura 2 – Mapeamento de solo, considerando a variabilidade espacial, para aplicação de fósforo na produção de alfafa.	9
Figura 3 – Exemplo de resposta de um sensor com saída digital.....	10
Figura 4 – Exemplo de resposta de um sensor com saída analógica.....	10
Figura 5 - Sensor de presença utilizando sensor óptico.	12
Figura 6 – Sensor óptico funcionando por retrorreflexão.....	13
Figura 7 – Sensor óptico funcionando por reflexão difusa.	13
Figura 8 – Estrutura de um sensor indutivo.	14
Figura 9 – Estrutura de um sensor capacitivo.....	15
Figura 10 – Exemplo de estrutura interna de uma unidade de controle ISOBUS ECU encontrada em sistemas eletrônicos.	16
Figura 11 – Exemplo de sistema de sensoriamento com a utilização de dispositivos <i>On-The-Go</i> em máquinas agrícolas	18
Figura 12 – Mapeamento de locais de possíveis instalações de sensores eletroeletrônicos em máquinas agrícolas.	19
Figura 13 - Vista lateral da estrutura utilizada em laboratório para os ensaios de fluxo de fertilizantes agrícolas.	22
Figura 14 – Esquema de montagem da comporta acoplada à estrutura de ensaios de fluxo de fertilizantes agrícolas.	23
Figura 15 – Canal de escoamento do fertilizante colocado na parte inferior da estrutura de ensaios.	24
Figura 16 – Modelo de sensor de sementes.....	25
Figura 17 – Modelo do sensor óptico montado para os experimentos. 1 – Emissores. 2 – Receptor.	25
Figura 18 – Esquema do circuito eletrônico com os seus componentes.	26
Figura 19 – Circuito eletroeletrônico montado e adaptado para o uso na estrutura de ensaios.	27
Figura 20 – Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos misturados.....	29
Figura 21 – Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos misturados.....	30
Figura 22 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos misturados.	30
Figura 23 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos misturados.	31
Figura 24 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos misturados.	31
Figura 25 – Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio ignorando a vazão para abertura A4.....	32
Figura 26 - Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos de tamanho 2mm.....	33
Figura 27 - Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos 2mm.....	34
Figura 28 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos 2mm.....	34

Figura 29 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos 2mm.....	35
Figura 30 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos 2mm.....	35
Figura 31 - Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio em grânulos 2mm ignorando a vazão para abertura A4.	36
Figura 32 - Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos de tamanho 1mm.....	37
Figura 33 - Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos 1mm.....	38
Figura 34 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos 1mm.....	38
Figura 35 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos 1mm.....	39
Figura 36 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos 1mm.....	39
Figura 37 - Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio em grânulos 1mm ignorando a vazão para abertura A4.	40
Figura 38 – Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para mistura de grânulos.	41
Figura 39 - Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para grânulos de 2mm.....	42
Figura 40 - Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para grânulos de 1mm.....	42
Figura 41 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para a ureia.	43
Figura 42 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o sulfato de amônia.....	44
Figura 43 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o superfosfato simples.	44
Figura 44 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o cloreto de potássio.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Possíveis sensores em máquinas agrícolas correlacionando com os números indicados na Figura 12.	20
Tabela 2 – Resumo dos fatores utilizados nos ensaios	28
Tabela 3 – Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para mistura de grânulos e aberturas	46
Tabela 4 - Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para grânulos de 2 mm e aberturas	46
Tabela 5 - Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para grânulos de 1 mm e aberturas	46

ROSA JUNIOR, Álvaro Leonel Rodrigues da. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Março 2019, **Resposta Elétrica de Um Sensor Infravermelho ao Fluxo de Fertilizantes Agrícolas**. Orientador: Dr. Flávio Gurgacz.

RESUMO

O avanço da mecanização agrícola e a utilização de novas tecnologias permitem ao agricultor aumentar a produtividade das áreas agrícolas, ou seja, produzir em maiores quantidades, com qualidade superior, nas mesmas áreas. Parte desse avanço se deve à utilização de fertilizantes agrícolas de forma coerente. Para auxiliar o agricultor na obtenção de dados necessários para a correta aplicação de fertilizantes pode ser citado o GPS e os equipamentos que fornecem informações em tempo real para o operador. Para a aquisição de dados em tempo real são necessários sensores. Diante desse contexto, esta dissertação teve por objetivo confeccionar um circuito eletroeletrônico que conseguisse mensurar a quantidade de fertilizante utilizada a cada instante, isto é, a vazão, através do sinal de um sensor óptico. Para isso, os fatores de abertura da comporta, cor e tamanho dos grânulos foram utilizados e com o auxílio de ferramentas estatísticas conseguiu-se provar que o sensor óptico pode ser utilizado para esse propósito, mas não em qualquer situação.

PALAVRAS-CHAVE: Circuito eletroeletrônico; Fertilizantes; Sensor óptico.

ROSA JUNIOR, Álvaro Leonel Rodrigues da. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, March 2019, **Electrical Response of an Infrared Sensor to the Flow of Agricultural Fertilizers**. Teacher Advisor: Dr. Flávio Gurgacz.

ABSTRACT

The advancement of agricultural mechanization and the use of new technologies allow the farmer to increase the productivity of the agricultural areas, that is, to produce in greater quantities, with superior quality, in the same areas. Part of this progress is due to the use of agricultural fertilizers in a coherent way. To assist the farmer in obtaining data necessary for the correct application of fertilizers can be cited the GPS and the equipment that provide information in real time to the operator. Sensors are required for the acquisition of real-time data. In this context, this dissertation was based on the creation of an electro-electronic circuit that could quantify the amount of fertilizer used at each moment, that is, the flow through the signal of an optical sensor. For this, the factors: aperture of the bead, color and size of the beads were used and with the aid of statistical tools it was possible to prove that the optical sensor can be used for this purpose, however, not for any situation.

KEYWORDS: Electro-electronic; Circuit; Fertilizers; Optical sensor.

ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. A importância dos fertilizantes na agricultura	3
2.2. A importância da aplicação de fertilizantes de forma correta	4
2.3. Formas de aplicação e mecanismos dosadores de fertilizantes	6
2.4. Uniformidade na aplicação de fertilizantes	7
2.5. Eletrônica aplicada na agricultura	7
2.6. Sensores Eletroeletrônicos.....	9
2.6.1. Princípio de funcionamento e características	9
2.6.2. Aplicações Industriais.....	11
2.7. Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas.....	15
2.8. Sensores aplicados na agricultura	18
3. MATERIAI E MÉTODOS	21
3.1. Especificações gerais.....	21
3.2. Estrutura de ensaio	22
3.3. Confecção do circuito eletroeletrônico	24
3.4. Coleta dos dados	27
3.5. Análise dos dados	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia aplicada ao meio agrícola possibilitou ao agricultor melhoria dos processos que envolvem desde o plantio até o armazenamento. Dessa forma, nas mesmas áreas de cultivo foi possível melhorar a eficiência e o rendimento em todas as etapas, independentemente até do tipo de solo.

Dentre os avanços relacionados às máquinas agrícolas, é possível citar o GPS, que proporcionou ao agricultor a possibilidade de mapear suas áreas utilizando coordenadas, assim, permitindo ao agricultor plantar e colher em espaços mais regulares, a tecnologia aplicada em motores que possibilitou economia de combustível realizando os mesmos trabalhos, controle de sementes no plantio evitando perdas e melhorando a eficiência, a utilização correta de defensivos agrícolas e fertilizantes.

Contudo, sempre surgem novas ideias a serem implementadas e nesse contexto é que o tema de distribuição de fertilizantes se enquadra. Atualmente, a distribuição de fertilizantes é realizada de acordo com a necessidade dos solos e das plantas, utilizando regulagens mecânicas e equipamentos que não possuem os meios de garantir um fluxo uniforme, o que dificulta a distribuição dos produtos.

Porém, existem sensores que auxiliam na distribuição, como os sensores de fluxo, majoritariamente ópticos, que podem detectar se está ou não existindo um fluxo de fertilizante. Todavia, esses sensores apenas detectam se o fluxo de fertilizantes existe ou não, ou seja, eles não informam ao produtor a quantidade de produto que está efetivamente sendo utilizado.

Nessa problemática, envolvendo o fluxo de fertilizante, é que se baseia a presente pesquisa, que propõe a confecção de um circuito eletroeletrônico, utilizando algum tipo de sensor, capaz de monitorar a quantidade de fertilizante que está sendo usado pelo produtor, na unidade desejada.

Após algumas análises, o tipo de sensor escolhido foi óptico utilizando luz infravermelha, que, além de ter as qualidades necessárias para o desenvolvimento do projeto também possui maior disponibilidade e melhores preços, considerando esses aspectos, ele se torna uma opção viável para a confecção do experimento.

Esses sensores são divididos em emissores e receptores, nos quais, o primeiro emite sinal e o segundo recebe esse sinal. O sinal é transformado em um valor de tensão elétrica, que varia conforme a intensidade do sinal. Essa variação de sinal ocorre quando há algo entre o sensor e o receptor, nesse caso, o fertilizante.

Com a variação da tensão elétrica nos terminais do sensor, conhecendo a quantidade de fertilizante e o tempo em que o produto passa pelos sensores, é possível correlacionar a variação da tensão elétrica para definir a vazão de fertilizantes.

Para a realização dos testes é necessária uma estrutura de madeira com reservatório cônico embutido para que se possa depositar o fertilizante. O cone é utilizado, pois seu formato garante a uniformidade do fluxo de fertilizante. Para o controle do fluxo a estrutura detém uma comporta mecanicamente ajustável, localizada na parte inferior do cone.

Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho consistiu na confecção de um circuito eletroeletrônico, capaz de quantificar o fluxo de fertilizantes agrícolas com a medição da variação da tensão elétrica nos sensores ópticos causada pela passagem dos fertilizantes.

Os objetivos específicos têm por finalidade: analisar a eficácia do sensor óptico com a influência de diferentes cores de fertilizantes; verificar a interferência que as cores podem causar à resposta dos sensores; e por fim, analisar a influência de níveis de fluxo com a modificação da abertura e possíveis interferências que podem aparecer no sinal de tensão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Todo ser vivo precisa de alimento para a sua sobrevivência. Esta afirmação, mesmo que óbvia, demonstra uma realidade inquestionável, inclusive, para o ser humano, que ao longo de sua história, sempre procurou aprimorar a obtenção de alimentos. Uma das práticas desenvolvidas para facilitar essa obtenção foi a agricultura que, segundo Lopes e Guilherme (2008), mesmo que a data exata do início da utilização da agricultura não seja conhecida, é utilizada desde o momento em que a raça humana deixou de praticar atividades nômades e começou a se estabelecer em determinadas áreas.

Segundo Camargo (2012), a agricultura é uma atividade essencial para a produção mundial de alimentos. Devido ao grande crescimento populacional e ao desenvolvimento da humanidade, foram propostas várias práticas e técnicas agrícolas que intensificaram e melhoraram a produção e, segundo Camargo (2012), permitiram aos agricultores a produção de quantidades maiores em áreas menores e um dos fatores que possibilitou tal aumento de produtividade foi o uso de fertilizantes.

2.1. A importância dos fertilizantes na agricultura

De acordo com a Lei nº 6894, de dezembro de 1980, fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes vegetais (BRASIL, 1980), os quais possuem a função de repor ao solo os nutrientes retirados nas colheitas, podendo manter ou até amplificar o potencial produtivo, tornando-se, então, essencial para o aumento do rendimento agrícola (DIAS; FERNANDES, 2006).

Os nutrientes que fazem parte da composição dos fertilizantes podem ser divididos em orgânicos, contemplando os elementos de carbono, hidrogênio e oxigênio, e minerais, contemplando os elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, molibdênio e boro (CAMARGO, 2012). Os nutrientes orgânicos junto com os elementos minerais nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são conhecidos como macronutrientes, os demais, micronutrientes e as principais deficiências são dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (DIAS; FERNANDES, 2006).

Camargo (2012) explica que devido ao alto conteúdo de nutrientes, menor custo por unidade do elemento, menor umidade e efeito mais rápido, os fertilizantes

de origem mineral são utilizados em quantidades muito maiores do que os de origem orgânica, que são utilizados basicamente para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, portanto, justifica o foco nos fertilizantes minerais.

Complementando com Balastreire e Coelho (2000), a adubação com fertilizantes minerais é uma prática indispensável na agricultura, pois, é a forma mais rápida e eficiente e de menor custo operacional para se melhorar as qualidades químicas do solo.

Nitrogênio, fósforo e potássio devem ser aplicados em grandes quantidades, enquanto enxofre, cálcio e magnésio devem ser colocados em quantidades substanciais. Esses nutrientes são constituintes de muitos componentes das plantas, como proteínas, ácidos nucleicos e clorofila, sendo essenciais para transferência de energia, manutenção da pressão interna e ação enzimática. Os micronutrientes são utilizados em pequenas doses, considerados essenciais para o metabolismo das plantas e conclui que a falta de qualquer nutriente, seja macro ou micro, pode comprometer o desenvolvimento das plantas (ISHERWOOD, 2000).

2.2. A importância da aplicação de fertilizantes de forma correta

Não basta a simples aplicação dos fertilizantes, ela deve ser feita na dose correta e no tempo certo. De acordo com Jesus e Hill (2015), para alcançar melhores rendimentos de produtividade, o setor agrícola consome grandes quantidades de fertilizantes.

Camargo (2012) também aponta para o uso adequado de fertilizantes, citando que o uso eficiente proporcionará produtividade acentuada e contribuirá para a melhoria da qualidade do solo e da água tanto para a saúde vegetal quanto humana.

Quando se fala em uso eficiente de fertilizantes, deve-se levar em consideração que, doses insuficientes de fertilizantes podem prejudicar o desenvolvimento das plantas, assim como doses exageradas (MALAVOLTA, et al. 1997), como exemplifica Camargo (2012), a quantidade exagerada de nitrogênio em cereais pode levar ao acamamento e perda de produtividade, além da perda para águas do subsolo e rios em caso de chuvas fortes.

Ainda de acordo com o autor, o desbalanço nutricional das plantas, devido ao uso incorreto de fertilizantes, as deixam mais susceptíveis a pragas, resultando no uso excessivo de defensivos agrícolas. Lapidou-Loureiro e Nascimento (2008)

completam que a aplicação de fertilizantes de forma controlada minimiza os impactos ambientais.

Não bastando a aplicação em doses corretas, existem também, épocas adequadas para a aplicação desses fertilizantes, que variam conforme as características físico-químicas de cada um deles.

Para Lopes e Guilherme (2000), a época de aplicação de fertilizantes deve ser a mesma que antecede a maior demanda do produto, desde que o fertilizante seja de alta solubilidade. Fertilizantes com essas características são os nitrogenados e os potássicos.

No caso de fertilizantes pouco solúveis, como é o caso dos fosfatados, os autores sinalizam que eles devem ser aplicados com antecedência, para que, com o tempo seja absorvido de forma eficiente.

Para ilustrar tal comportamento é essencial que se tenha a curva de absorção de nutrientes em função do tempo, o problema é que cada cultura absorve quantidades diferentes. Na Figura 1, tem-se um exemplo de como os nutrientes são absorvidos no decorrer do tempo, neste caso, o feijoeiro.

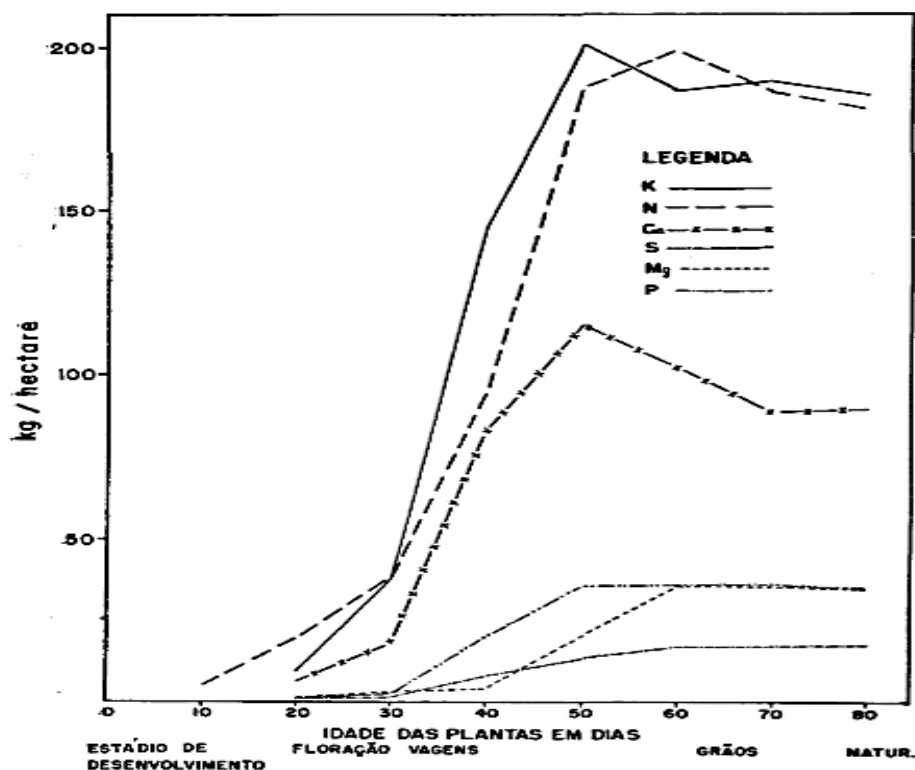


Figura 1 - Quantidade de macronutrientes (kg) absorvidos por 250.000 pl.ha⁻¹ em função do desenvolvimento do feijoeiro.

FONTE: Haag et al. (1977).

Na Figura 1 é possível visualizar que o nitrogênio e o potássio são absorvidos pelo feijoeiro de forma mais rápida que os demais nutrientes, justificando uma aplicação tardia.

2.3. Formas de aplicação e mecanismos dosadores de fertilizantes

Para que as doses corretas de fertilizantes sejam aplicadas nas devidas épocas são necessários os meios de aplicação, ou seja, mecanismos que permitam ao agricultor fazer a aplicação na lavoura.

Balastreire (1987) classifica os distribuidores de fertilizantes em helicoidais, rotores dentados, discos horizontais rotativos, rotor vertical impulsor e sistemas de correias ou correntes. O sistema helicoidal, também conhecido como rosca sem fim, segundo Garcia (2007), é o mais utilizado pelos fabricantes. Cerca de 65,1% das máquinas agrícolas possuem esse dispositivo como dosador de fertilizantes (SILVA, 2003).

Um estudo recente feito com 558 máquinas de diversas marcas, acerca dos mecanismos dosadores utilizados em máquinas agrícolas, revelou quatro tipos de dosadores, o helicoidal, o disco horizontal giratório, o rotor dentado e o cilindro acanalado. Entre as máquinas, 315 são para até 10 linhas, 231 até 20 linhas e 12 para até 30 linhas, e somente a primeira categoria apresentou todos os 4 tipos de mecanismos, as demais apenas o helicoidal que está sendo utilizado por cerca de 95% do total das máquinas (FRANCETTO et al., 2012).

De acordo com Garcia (2007), existem duas formas de realizar a aplicação de fertilizantes: a lanço e em fileiras. Segundo Lopes e Guilherme (2000), os fertilizantes pouco solúveis devem ser aplicados com antecedência para que haja tempo suficiente para que os produtos sejam incorporados ao solo, enquanto que os fertilizantes mais solúveis devem ser aplicados diretamente no local para diminuir possíveis perdas por lixiviação.

Outros fatores também podem auxiliar na escolha da forma de aplicação de fertilizantes. Para Lopes e Guilherme (2000), são a contribuição relativa da interceptação radicular, o fluxo de massa e a difusão do fornecimento de nutrientes de cada cultura.

2.4. Uniformidade na aplicação de fertilizantes

De acordo com Balastreire e Coelho (2000), como regra geral, a vazão dos mecanismos dosadores é determinada pela combinação da velocidade angular do mecanismo, normalmente por meio de troca de engrenagens, com a abertura da comporta de saída do produto. Como o sistema helicoidal é o mais utilizado vale salientar que esse dosador possui característica não uniforme de fluxo de fertilizantes, principalmente em baixas vazões devido à característica de distribuição por pulso, ou seja, não há um fluxo de fertilizantes constante na saída do distribuidor, mas sim, pulsos, o que ocasiona a não linearidade (CAPELLI, et al., 2000).

De acordo com Ferreira et al. (2010), a precisão na dosagem de fertilizantes é um dos parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho em máquinas semeadoras-adubadoras.

Como já mencionado anteriormente, a aplicação de fertilizantes em doses insuficientes ou em doses exageradas pode prejudicar seriamente o desenvolvimento das plantas e o solo, tendo em vista as asserções de Balastreire e Coelho (2000) e Ferreira et al. (2010), é possível concluir que, a uniformidade na distribuição de fertilizantes agrícolas depende diretamente do mecanismo dosador utilizado e como mais da metade das máquinas agrícolas estão equipadas com mecanismos não uniformes são necessários ajustes constantes para manter-se uma boa distribuição.

Conforme Lopes e Guilherme (2000), a uniformidade também é afetada pelas características dos produtos, como a higroscopicidade, empedramento, fluidez e grau de segregação.

De acordo com os autores, a higroscopicidade é a tendência que o produto possui de absorver umidade, já o empedramento corresponde a cimentação das partículas formando outras maiores, o grau de segregação equivale a separação por tamanho e a fluidez é a capacidade de escoamento do produto em determinados espaços.

2.5. Eletrônica aplicada na agricultura

Em um mercado que se apresenta cada vez mais competitivo, o aumento da eficiência nos diversos setores produtivos é essencial e fundamental. Para Tschiedel e Ferreira (2002), a agricultura não é exceção, portanto, existe a necessidade do aumento da eficiência dos processos agrícolas.

Nos processos industriais, segundo Rosário (2009), a automação possui os conceitos e meios para que se possa aumentar a eficiência dos processos produtivos, contudo, cada processo possui suas próprias grandezas e para isso, na visão do autor, são necessários diversos equipamentos eletrônicos de medição e sensores para a atuação de dispositivos.

Na agricultura, são usados diversos equipamentos e sensores eletrônicos para análise das situações de campo e com isso surgiu o conceito conhecido como agricultura de precisão, o qual Brasil (2009) explicou como sendo um sistema de gerenciamento agrícola que envolve a variação das propriedades do solo e das plantas em uma lavoura, visando a otimização do lucro, a sustentabilidade e o meio ambiente.

Segundo Brasil (2013), existem várias formas de abordagem da agricultura de precisão, todavia, o objetivo é sempre o mesmo, que é a resolução estratégica de problemas que decorrem da não uniformidade das lavouras.

As não uniformidades do solo registram que em uma mesma área é possível que existam necessidades diferentes, a agricultura de precisão tem o intuito de conseguir fazer com que cada parte receba o que necessita. Segundo Tschiedel e Ferreira (2002), a agricultura de precisão é um método de gerenciar os campos agrícolas, metro a metro, cobrindo toda a extensão das fazendas, levando em consideração essas não uniformidades.

Com os dados adquiridos de Bernardi et al. (2014), sobre a variabilidade das propriedades do solo em uma produção de alfafa, Bernardi et al. (2015) criaram a Figura 2, que faz uma recomendação da quantidade de fósforo que deve ser aplicada ao solo considerando a variabilidade espacial das características.

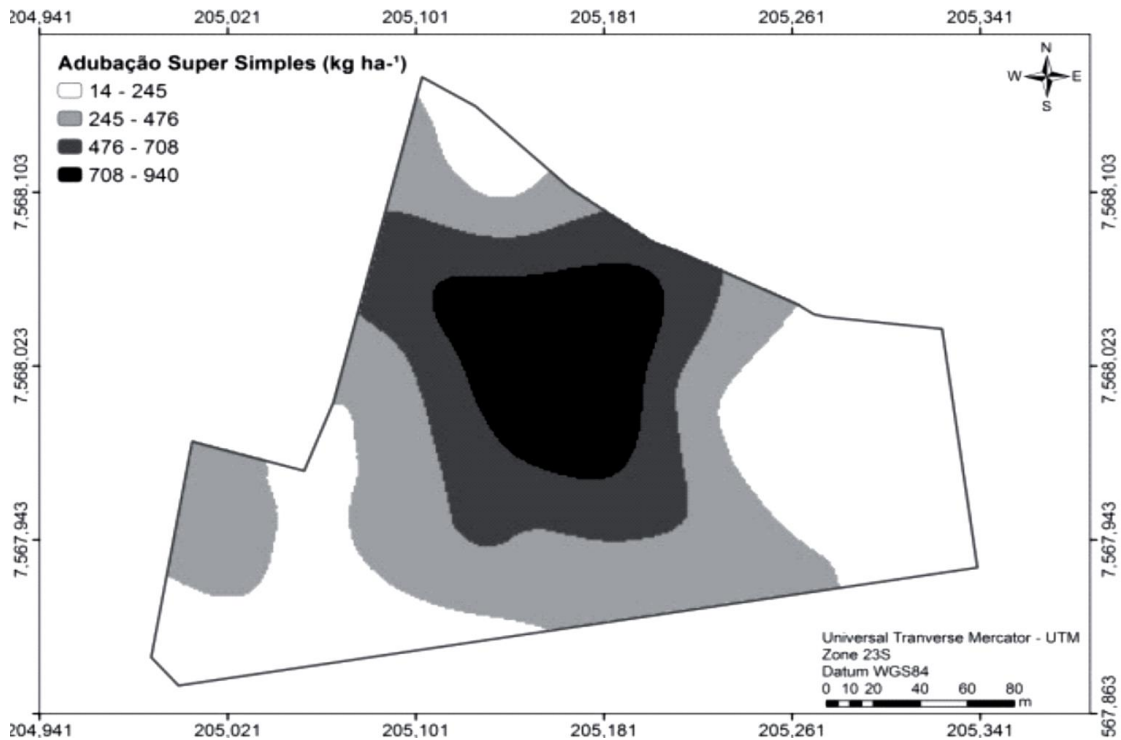


Figura 2 – Mapeamento de solo, considerando a variabilidade espacial, para aplicação de fósforo na produção de alfafa.

FONTE: Bernardi et al. (2015)

No Brasil, as soluções pela aplicação da agricultura de precisão estão focadas no uso de corretivos e fertilizantes de forma variável, porém, de acordo com Brasil (2013), não se deve esquecer que a agricultura de precisão considera a variabilidade espacial em vários aspectos, como a produtividade, o solo, infestações, doenças e pragas.

Para a aplicação de produtos agrícolas nas fazendas, Brasil (2013) afirma ser necessário um equipamento eletrônico que controle as doses dos produtos segundo a necessidade do solo e das plantas. Para que esses equipamentos eletrônicos atuem de forma adequada é fundamental a presença de sensores.

2.6. Sensores Eletroeletrônicos

2.6.1. Princípio de funcionamento e características

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2012), sensor é o termo utilizado para caracterizar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, relacionado a alguma grandeza que se deseja medir, e o sensor eletrônico, é aquele constituído de circuitos eletrônicos para o seu funcionamento.

Os sensores possuem algumas características que devem ser levadas em consideração dependendo da situação e do local que será instalado, dentre elas estão: o tipo de saída, sensibilidade, exatidão, precisão, linearidade, alcance, estabilidade e velocidade de resposta. As saídas dos sensores podem ser analógicas ou digitais. As analógicas podem assumir qualquer valor, desde que dentro de suas limitações ao longo do tempo. Já as digitais podem assumir apenas dois valores, trabalhando na forma *on/off*, que na forma numérica simbolizam 1/0, respectivamente (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

As Figuras 3 e 4, ilustram a diferença entre as saídas analógicas e digitais.

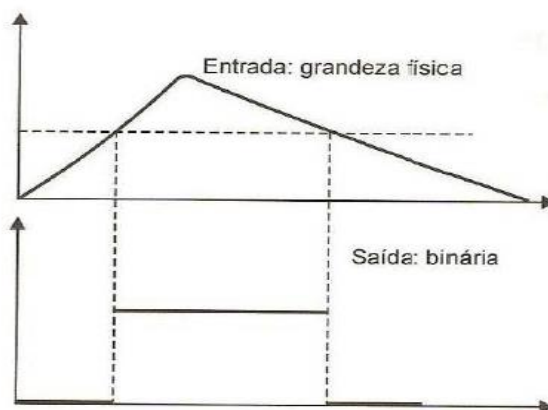


Figura 3 – Exemplo de resposta de um sensor com saída digital.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

Mesmo que a entrada seja analógica, a saída trabalha em função de determinado nível e abaixo desse nível a resposta é 0, acima é 1.



Figura 4 – Exemplo de resposta de um sensor com saída analógica.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

Nas saídas analógicas o sinal é quase um espelho da entrada, contudo, em unidades diferentes.

A utilização de sensores digitais ou analógicos depende da especificação do trabalho a ser desenvolvido e da necessidade, como por exemplo, refrigeradores e condicionadores de ar que desligam ao atingir a temperatura desejada e voltam a ligar posteriormente trabalhando de forma digital. Por outro lado, quando o controle de temperatura é mais preciso e ao invés do compressor desligar totalmente ele ficar ligado consumindo menor potência, dizemos que está trabalhando de forma analógica (FRIGELAR, 2016).

A sensibilidade, de acordo com Ruiz et al. (2010) é a razão entre a grandeza medida e a saída. Já a exatidão é o erro da medida realizada em relação a um padrão, enquanto que a precisão é a capacidade de repetição dos valores medidos às mesmas condições.

O conceito de linearidade é aplicável a sensores analógicos e, segundo Franchi (2011), é vista quando são comparadas curvas ideais e reais, na qual a resposta da segunda deve ser linear em relação à primeira.

A estabilidade está relacionada a flutuação do sinal e, de acordo com Thomazini e Albuquerque (2012), quando a flutuação das medidas é muito grande, o atuador pode ser prejudicado.

Alcance (largura de faixa), é definido por Franchi (2011) como a relação entre o valor máximo e o valor mínimo lidos com a mesma exatidão na escala de algum instrumento. Já a velocidade de resposta, de acordo com Thomazini e Albuquerque (2012), depende da situação a qual o sensor está aplicado.

Ainda existem outras características que devem ser levadas em consideração no momento da escolha de um sensor, como: custo de aquisição, dimensões, encapsulamento, vida útil e faixa de trabalho, etc., sempre considerando a situação de aplicação, ambiente de trabalho e resposta desejada.

2.6.2. Aplicações Industriais

Os sensores possuem diversas aplicações na indústria e podem apresentar princípios variados, dentre eles: magnéticos, capacitivos, ópticos e ultrassônicos. Os sensores de posição, também conhecidos como fim de curso e são de utilização

simples e o funcionamento é pela ativação de uma mola que vai abrir ou fechar um determinado circuito, ou seja, apenas resposta digital (CAPELLI, 2012).

Os sensores ópticos, de acordo com Thomazini e Albuquerque (2012), são baseados na presença de um emissor e um receptor e para que haja a comutação ou a ativação é necessário que a luz do emissor chegue ao receptor com intensidade suficiente. A Figura 5, mostra o funcionamento desse sensor.

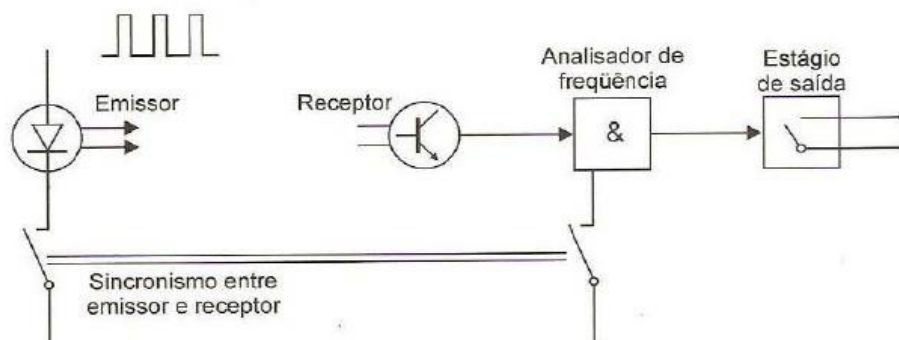


Figura 5 - Sensor de presença utilizando sensor óptico.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

Caso o sinal de luz emitido pelo emissor não chegue ao receptor com intensidade suficiente, não haverá o sincronismo entre eles e a saída não será comutada. De acordo com Capelli (2012), o sensor óptico, utilizado na função mencionada, é conhecido como de barreira direta e possui como vantagens a grande faixa de operação, distância de operação e boa precisão, já as desvantagens são precisar de no mínimo duas partes (emissor e receptor), e não poder ser utilizado em objetos transparentes.

Existem outras maneiras de se utilizar os sensores ópticos, como por exemplo, o sensor óptico por retroreflexão ou por reflexão difusa. Nesses casos, o receptor não receberá diretamente o sinal do emissor, mas sim, por intermédio da reflexão. Segundo Thomazini e Albuquerque (2012), no primeiro caso, como ilustrado na Figura 6, o emissor recebe o sinal por reflexão e na presença de um objeto o sinal é obstruído. No segundo, o sinal apenas chegará ao receptor com a presença de um objeto, que servirá para refletir o sinal, visualizado na Figura 7.

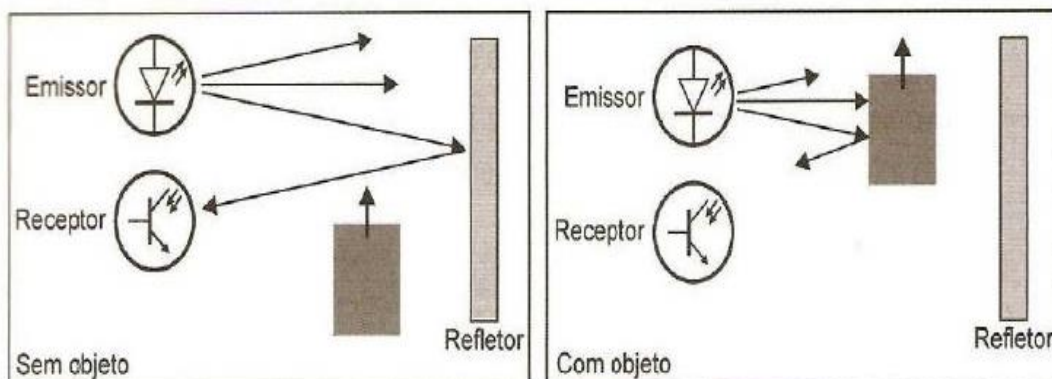


Figura 6 – Sensor óptico funcionando por retroreflexão.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

O sinal que o receptor recebe após a inserção de um objeto é nulo ou muito inferior, dependendo da reflexão do objeto que será inserido.

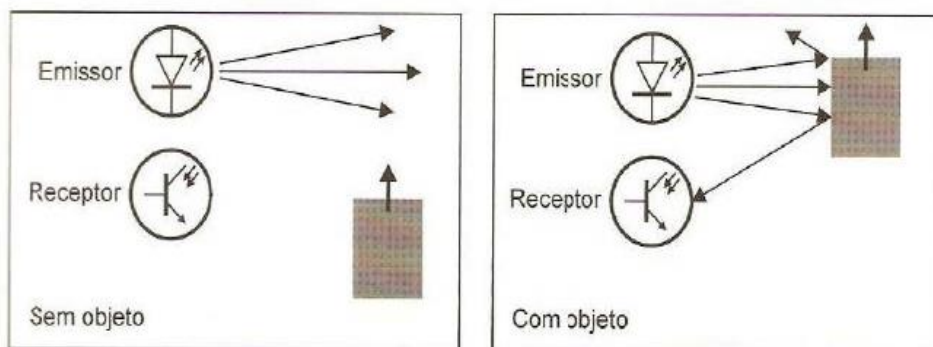


Figura 7 – Sensor óptico funcionando por reflexão difusa.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

Neste caso, o receptor apenas receberá o sinal do emissor na presença de um objeto refletor. Capelli (2012) cita algumas vantagens e a desvantagem para o exemplo de retroreflexão. As vantagens equivalem à: instalação simples, na qual podem ser utilizados materiais até certo grau de transparência e melhor resposta; a desvantagem é necessitar de um refletor externo. A respeito do sensor óptico por reflexão difusa, o autor cita como vantagem o fato de que o próprio objeto é o refletor e não precisa de um externo, a desvantagem é que para cada material a resposta será diferente.

Ainda é possível citar que, segundo Mamede Filho (2011), a reflectância de algum objeto varia conforme a cor, sendo que, para cores mais claras a reflectância será maior.

Existem outras situações em que esse sensor pode ser empregado e como aplicação direta pode-se citar a detecção de peças, pessoas, proximidade, entre outras aplicações (CAPELLI, 2012).

O sensor de proximidade, segundo Thomazini e Albuquerque (2012), são aqueles que utilizam campos de frequência de rádio (sensores indutivos) e campos eletrostáticos (sensores capacitivos).

O sensor indutivo é dotado de um oscilador LC, um comparador de sinal e um chaveador, como mostra a Figura 8. De acordo com Thomazini e Albuquerque (2012), a bobina acoplada ao oscilador LC emite um campo eletromagnético de alta frequência, que na presença de materiais metálicos é induzida uma corrente de Foucault que gera perdas e tira energia do circuito, assim, ocorrendo o chaveamento.

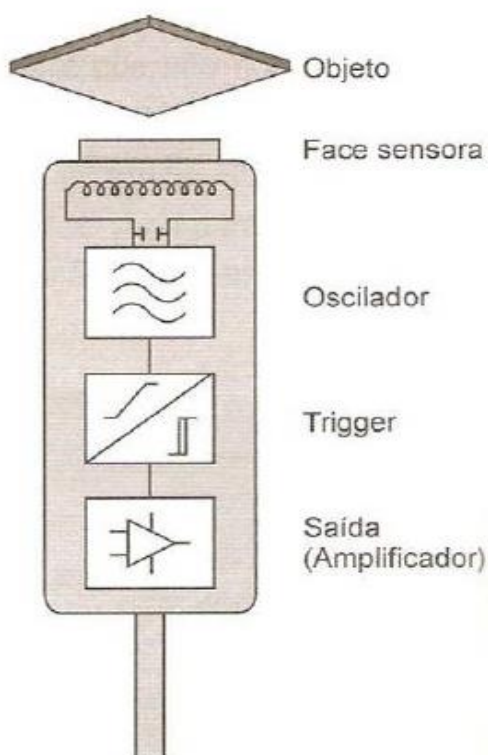


Figura 8 – Estrutura de um sensor indutivo.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

Os sensores capacitivos são dotados de uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um filtro e um circuito de saída, como demonstrado na Figura 9. Segundo Thomazini e Albuquerque (2012), na presença de objetos não metálicos a capacitância do circuito aumenta, alterando o campo eletrostático, quando ela atinge um determinado valor a saída é ativada.

Nos sensores capacitivos é possível ajustar esse valor de comutação da capacitância, assim, podem-se detectar materiais diferentes, pois, cada material altera a capacitância do sensor de forma diferente.

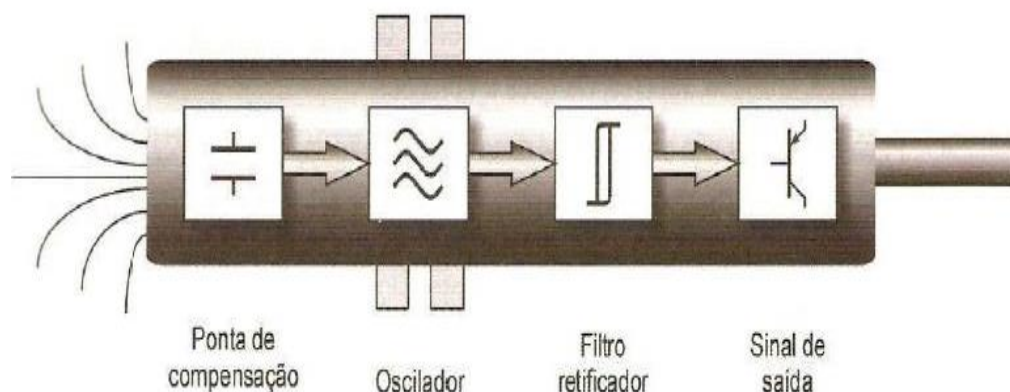


Figura 9 – Estrutura de um sensor capacitivo.
FONTE: Thomazini e Albuquerque (2012).

As aplicações para esses sensores são bastante variadas, e podem ser utilizados para a detecção de nível, contagem de caixas, contagem de peças metálicas, separação de material, presença de líquidos, entre outras.

Capelli (2012) argumenta que os sensores magnéticos são largamente utilizados em várias áreas de atuação e se baseiam na ativação de um contato normalmente aberto com a utilização de um campo magnético produzido com um ímã.

Os sensores ultrassônicos, de acordo com Capelli (2012), se baseiam na emissão e reflexão de ondas sonoras entre o objeto e o refletor, e possui como vantagem a possibilidade de detecção de qualquer material e desvantagens: possuir alto custo, necessitar de posicionamento especial e necessitar de distância mínima de funcionamento, frisando que não deve ser menor que 10 centímetros e maior que 1 metro.

Os encoders, de acordo com Capelli (2012), podem ser considerados sensores de posicionamento que envolve deslocamento angular mecânico, reflexão óptica e conversão de sinais elétricos.

2.7. Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

Segundo Cunha (2007), um sistema embarcado consiste em mesclar eletrônica e computação para realizar uma determinada tarefa.

As características exigidas correspondem a um computador próprio, além de um protocolo de comunicação para atuar com os diversos implementos agrícolas.

Conforme Sousa et al. (2014), o protocolo utilizado é o *Controller Area Network* (CAN), pois, permite a construção de redes de forma simples e robusta, tornando-se bastante confiáveis. Esse protocolo foi adotado pela *International Organization for Standardization* (ISO) para a aplicação em máquinas agrícolas, por meio da norma ISO11783, também conhecida como ISOBUS.

Para suprir as necessidades tecnológicas no país foi criado o Fundo para o Setor do Agronegócio sob a coordenação da Embrapa Instrumentação e, de acordo com Sousa et al. (2014), junto com os preceitos da norma ISOBUS, para viabilizar a implementação da eletrônica em máquinas agrícolas no país, vários estudos estão sendo feitos a fim de padronizar um modelo de unidade de controle, conhecido como ISOBUS ECU. Na Figura 10, é possível visualizar a composição da unidade de controle em questão.

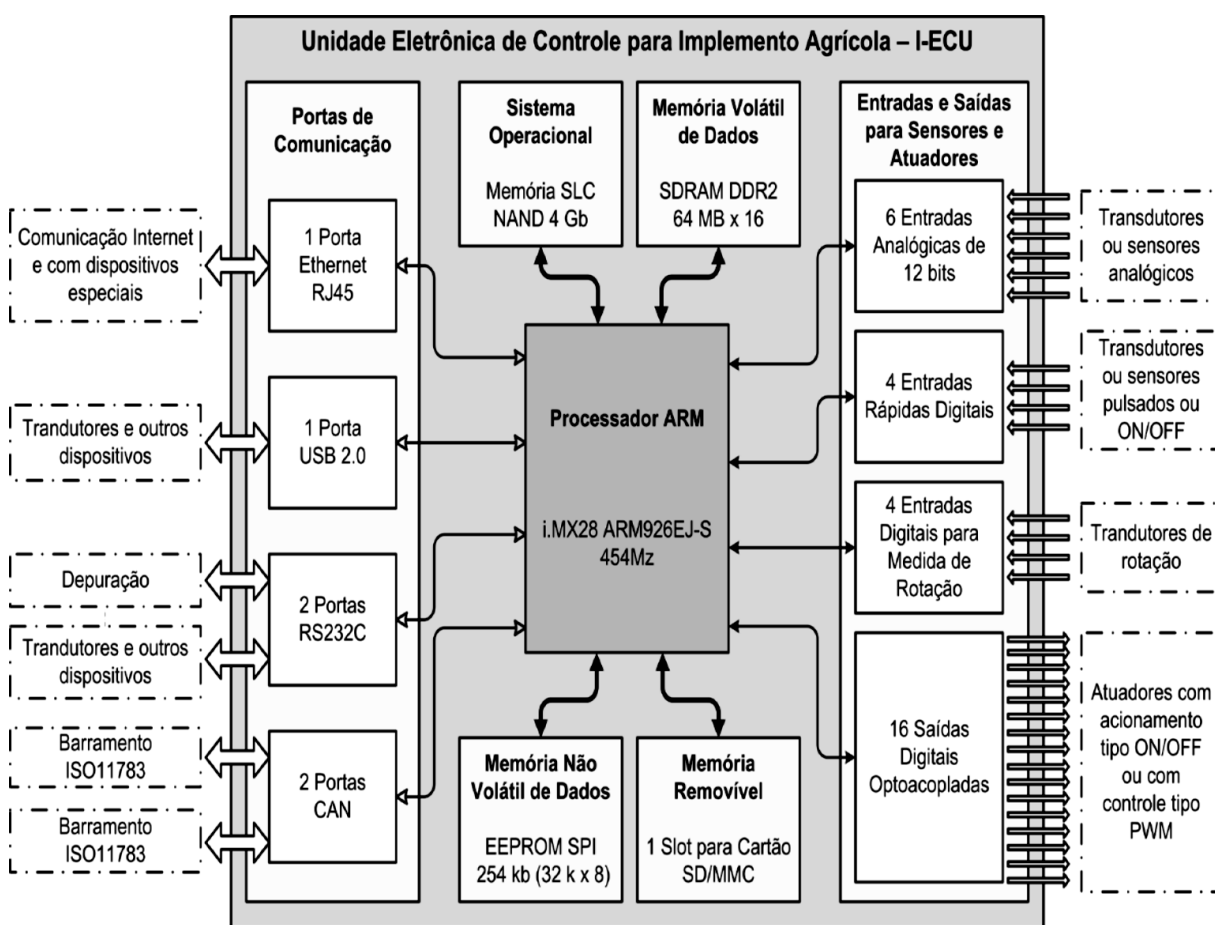


Figura 10 – Exemplo de estrutura interna de uma unidade de controle ISOBUS ECU encontrada em sistemas eletrônicos.

FONTE: Sousa et al. (2014).

Na Figura 10, é possível notar a presença de portas de rede, no protocolo CAN, portas de comunicação serial, USB e *ethernet*, memórias RAM e ROM, entradas analógicas e digitais e saídas para atuadores, tudo controlado por um processador.

A aplicação de sistemas embarcados nas máquinas agrícolas não é tão recente. Para Sousa et al. (2014) a eletrônica começou a ser utilizada em veículos agrícolas em 1980, nos Estados Unidos da América, Europa e Japão, e em 1990 aparecem os primeiros veículos com GPS.

Segundo Tschiedel e Ferreira (2002), o GPS foi a maior implementação em veículos agrícolas, tanto que chegou a ofuscar outras tecnologias, pois, permitiu os primeiros mapas de produtividade em áreas agrícolas.

A partir dos conceitos de agricultura de precisão e o sistema GPS embarcado em máquinas agrícolas, novas tecnologias foram surgindo e, segundo Sousa et al. (2014), recebem destaque o VRT – *Variable Rate Technology* (aplicação à taxa variável), sistemas *On-The-Go* e piloto automático.

As tecnologias VRT são utilizadas para permitir o controle na aplicação de insumos agrícolas, como fertilizantes e corretivos, além de sementes no plantio, permitindo espaçamentos e quantidade de sementes relativos à necessidade do ambiente. Segundo Sousa et al. (2014), a aplicação dos sistemas VRT dependem de um receptor GPS na máquina para a aquisição das coordenadas geográficas e de controle da velocidade.

O sistema *On-The-Go* não necessita de georreferenciamento para sua utilização, no entanto, precisa uma central de navegação que atua junto com medições em tempo real para a tomada de decisão. Esse sistema normalmente carece de um controle preciso e rápida resposta às informações adquiridas. O piloto automático atua em conjunto com os sistemas VRT e *On-The-Go*, para permitir a navegação das máquinas agrícolas de forma autônoma e rápida, visto que, em ambas as tecnologias a máquina agrícola deve atuar o mais rapidamente possível após receber os dados de navegação (SOUSA ET AL., 2014).

Tanto os equipamentos VRT e os *On-The-Go*, de acordo com Sousa et al. (2014) podem ser consideradas exemplos de eletrônica embarcada e, portanto, é necessário que possuam uma unidade de processamento própria em conjunto com

as memórias RAM e ROM, entradas analógicas e digitais e saídas, que recebem o sinal e enviam o comando para os diversos atuadores.

2.8. Sensores aplicados na agricultura

Segundo Sousa et al. (2014), muitos sensores *On-The-Go* têm sido pesquisados e o destaque volta-se para os sensores ópticos, que são utilizados com fontes de luz LED (*light emitting diode*) e na reflexão dessa luz pelas plantas o sensor óptico capta o sinal e faz o processamento de acordo com a cor da planta. Na Figura 11, é possível visualizar um sistema com esses sensores.



Figura 11 – Exemplo de sistema de sensoriamento com a utilização de dispositivos *On-The-Go* em máquinas agrícolas
FONTE: Sousa et al. (2014).

Costa et al. (2015) explica que os sensores agrícolas podem ser categorizados em sensores de clima, solo, veículos e implementos e sensores para a agricultura de precisão.

Os sensores de clima são extremamente importantes e, segundo a/o autor(a) altamente utilizados para auxiliar o produtor nas decisões sobre o cultivo ideal, citando que esse sensor não é utilizado em máquinas agrícolas, mas sim em estações meteorológicas.

Os sensores de solo têm a função de medir e fornecer dados sobre a composição do solo que, de acordo com Costa et al. (2015), auxilia no fornecimento de dados para se determinar a quantidade de fertilizantes e corretivos que deve-se ter

para o plantio ou cultivo de uma determinada cultura e entre as funções sensoriais podem-se ter o de textura (arenoso, argiloso), total de carbono, umidade, sódio, densidade, profundidade, produtividade, sensores de perda, pH, nitrato residual e potássio.

Os sensores de veículos são aqueles que conseguem informar ao produtor as características das máquinas. Tais sensores servem de base de dados para a utilização da agricultura de precisão e podem apresentar as funções de informar temperatura (motor, líquido de arrefecimento, combustível, ar do coletor, óleo, entre outros), tacômetro, virabrequim do motor, came do motor, presença de água, nível de combustível, pedal do acelerador, pressão do óleo da transmissão e outros que se façam necessários para o bom uso das máquinas agrícolas, como sensores específicos para alguns implementos agrícolas, como por exemplo, para pulverizadores que podem possuir os sensores de altura da barra e de plantas daninhas, para plantadeiras, presença de sementes e de vácuo (COSTA et al., 2015).

Para a utilização de sensores nos moldes da agricultura de precisão, quanto maior o número de informações que se conseguir obter, melhores serão os resultados. A Figura 12, com o auxílio da Tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, ilustra, com o exemplo de uma colhedora, possíveis sensores.

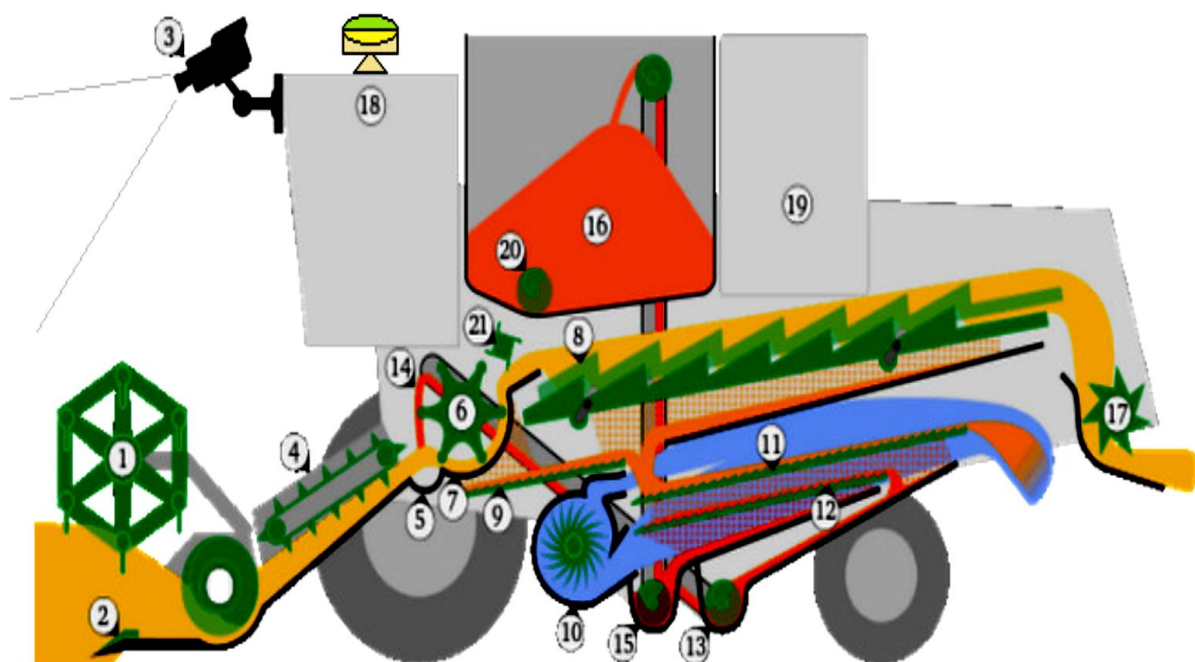


Figura 12 – Mapeamento de locais de possíveis instalações de sensores eletroeletrônicos em máquinas agrícolas.
FONTE: Costa et al. (2015).

A Tabela 1, relaciona os números da Figura 12 com os possíveis sensores instalados nessas partes, informando nome e função.

Tabela 1 – Possíveis sensores em máquinas agrícolas correlacionando com os números indicados na Figura 12.

FONTE: Costa et al. (2015)

Parte da Máquina	Número	Possíveis sensores associados
Rolo	1	Sensor de movimento/rotação/altura do solo
Barra de corte	2	Sensor metálico/rotação
Captura de imagens	3	Sensor de imagens/câmera
Transportador de grãos	4	Sensor de movimento da esteira/corrente
Tambor de debulhação	6	
Deslocador de palha	8	Sensor de rotação/travamento
Bandeja de grãos	9	
Ventilador	10	Sensor de rotação/sobre corrente (travamento)
Peneira ajustável de cima	11	Sensor de inclinação/rotação/vibração
Peneira de fundo	12	Sensor de perda de grão
Transportadora de rejeitos	13	Sensor de vibração e indutivo de movimento
Redebulhador de rejeitos	14	Sensor de fluxo de palha
Trado de grãos	15	Sensor de rotação/travamento/fluxo de grãos
Tanque de grãos	16	Senso de nível de grãos/umidade
Cortador de palhas	17	
GPS	18	Sensor de posição geográfica/rádio
Motor	19	Combustível/outros sensores atrelados ao motor e injeção eletrônica
Outras posições		Sensores ópticos (infravermelhos)/sensores de solo (pH)/sensores eletromagnéticos/etc...

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Especificações gerais

O experimento foi dividido em cinco etapas, compreendidas em: confecção do circuito do sensor; configuração do equipamento de aquisição de dados; coleta de dados; análise dos dados e discussões.

O sensor utilizado para a confecção do circuito foi o óptico, empregado para reflexão difusa devido ao fato de que as características, o modo de funcionamento e a prévia utilização em máquinas agrícolas, como já mencionado anteriormente, todas essas informações formaram a base para a escolha.

O circuito do sensor foi montado para adequar os níveis de tensão e corrente necessárias para o bom funcionamento do sensor. Para adequar a posição de instalação, foram utilizados dois emissores e um receptor ópticos, sendo o receptor entre os emissores.

O equipamento utilizado para a aquisição de dados foi o Fieldlogger, da marca NOVUS, por ser robusto, de alta confiabilidade, permitir trabalhar com sinais analógicos e trabalhar com a unidade desejada (tensão elétrica), segundo as informações fornecidas pela própria empresa do equipamento. A configuração foi baseada na grandeza medida, na tensão elétrica, que é a variação indicada pelos sensores e na quantidade de medidas por unidade de tempo ou frequência de aquisição de dados, 10 Hz ou dez medidas por segundo. Essa frequência foi utilizada, devido ao fato de que menores frequência não conseguiram representar adequadamente o sinal, principalmente, em altas vazões. Foram realizados testes para a verificação.

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Máquinas Agrícolas, Tratores e Motores (LAMA), localizado no campus de Cascavel, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em ambiente com temperatura e umidade monitoradas.

A análise de dados foi realizada no Software R, um programa gratuito de análise estatística e distribuído pela *R Foundation*, em conjunto com o Microsoft Excel.

3.2. Estrutura de ensaio

A estrutura utilizada nos ensaios pertence à instituição de ensino e foi montada pensando em manter o fluxo de fertilizantes o mais uniforme possível, visto que, garantindo a uniformidade de saída do fertilizante, basta-se analisar o sinal adquirido do equipamento para se determinar a vazão. A Figura 13, ilustra a estrutura.

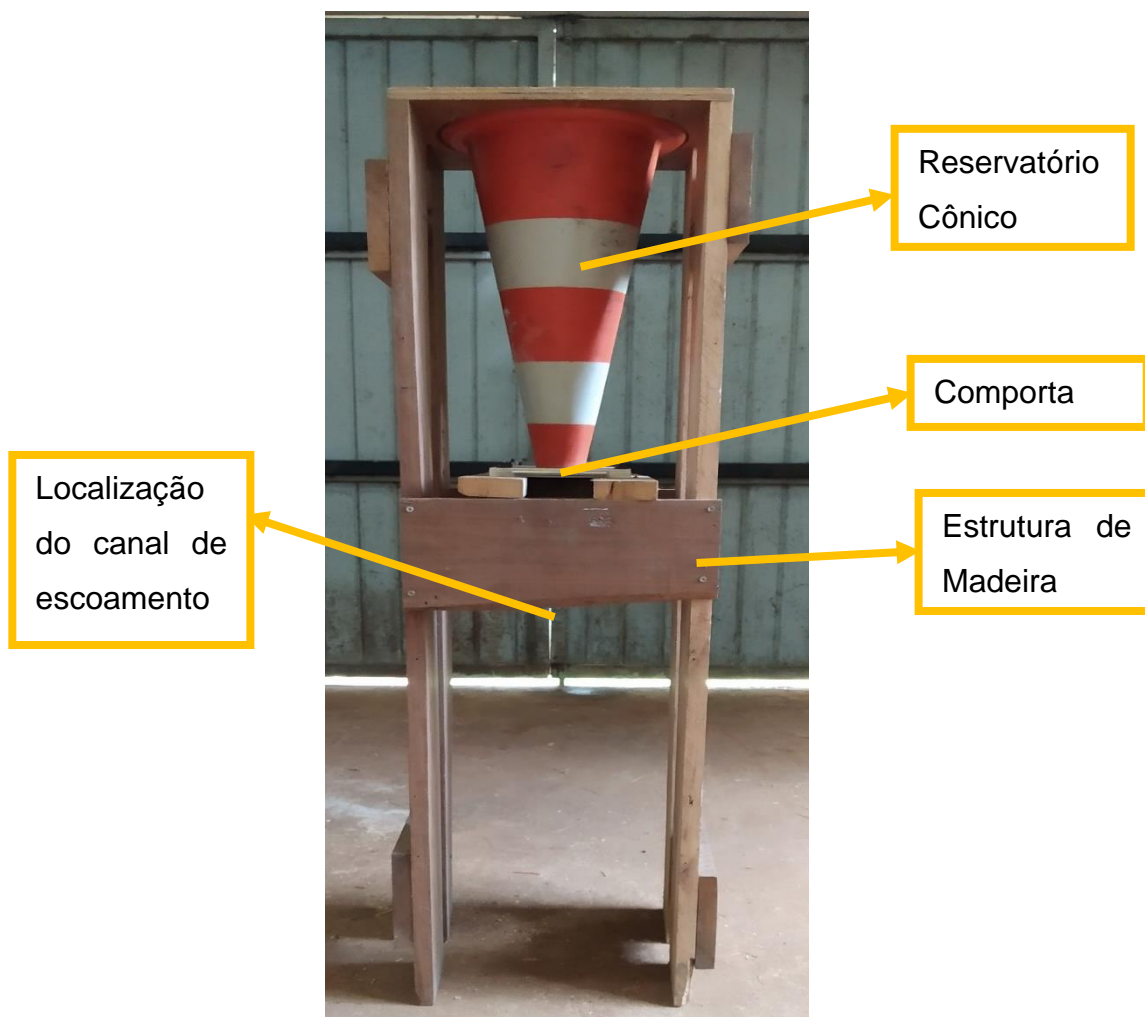


Figura 13 - Vista lateral da estrutura utilizada em laboratório para os ensaios de fluxo de fertilizantes agrícolas.

O dispositivo da Figura 13 é composto de um reservatório cônico que possui base maior com abertura de 20 cm e a menor com 5 cm, altura 45 cm e inclinação próxima de 9 graus com o eixo vertical, resultando em volume aproximado de 4,5 litros, montado sobre um suporte de madeira para sustentação, com 120 cm de altura e dimensões de 33x37 cm de largura e profundidade respectivamente. No fundo do reservatório foi adaptada uma comporta com dois sistemas de abertura, um para variação da vazão de saída, outro para fechamento total da saída. Esse sistema

permite abertura e fechamento total da saída e ainda mantém a regulagem de vazão para os ensaios. A Figura 14 ilustra a comporta.

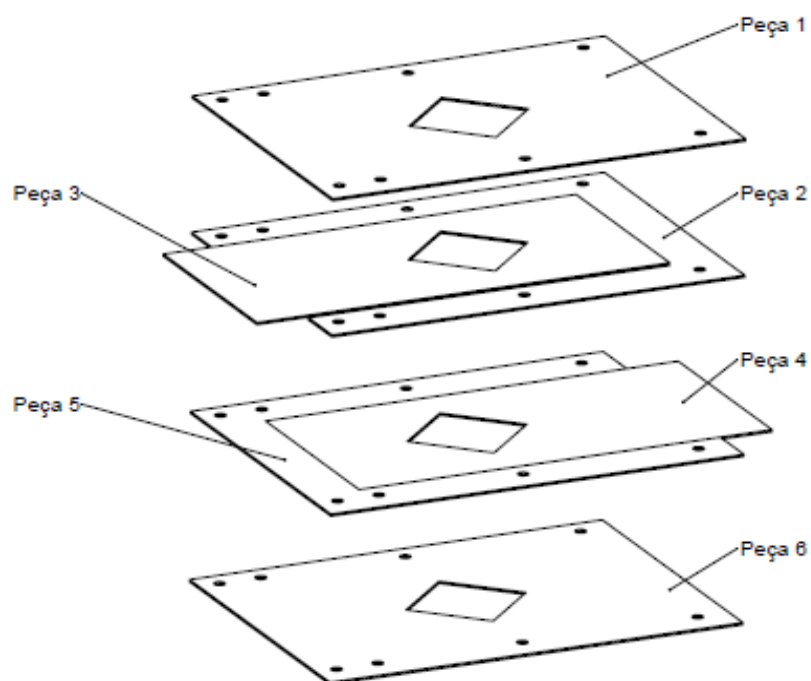


Figura 14 – Esquema de montagem da comporta acoplada à estrutura de ensaios de fluxo de fertilizantes agrícolas.

Na Figura 14, as peças 1, 2, 5 e 6 servem para fixação e suporte das peças 3 e 4. O esquema de duas peças para abertura e fechamento permitiu que enquanto uma peças ficasse fixa, para manter a abertura constante, a outra fosse utilizada para o controle manual de fechamento, assim, após configurada a abertura desejada não há modificação da abertura para os ensaios seguintes.

Logo abaixo da comporta localiza-se o canal de escoamento do fertilizante, indicado na Figura 15.



Figura 15 – Canal de escoamento do fertilizante colocado na parte inferior da estrutura de ensaios.

A Figura 15 mostra o canal utilizado para o escoamento do fertilizante durante os ensaios e é nesse ponto onde o circuito do sensor é fixado para a aquisição de dados.

3.3. Confeção do circuito eletroeletrônico

A confecção do circuito eletrônico teve como principais características o rebaixamento de tensão e o tamanho adaptado para o uso. Para isso, foi utilizado como base um modelo de sensor de sementes já em uso no meio agrícola, pois, os sensores ópticos não podem entrar em contato com o fertilizante devido à corrosão e desgaste. O modelo em questão já possui uma caixa preparada para a proteção dos sensores, assim, a utilização torna-se mais segura. A Figura 16 ilustra esse modelo.



Figura 16 – Modelo de sensor de sementes.
FONTE: AGROSYSTEM (2019).

O modelo da Figura 16 utiliza sensores ópticos na função de reflexão difusa, ou seja, possui instalação em apenas um dos lados na passagem e o próprio fertilizante se torna o meio refletor do sinal. Essa configuração foi escolhida, pois era de fácil instalação na estrutura montada para os ensaios.

Dessa forma, o circuito foi montado com dois emissores nas extremidades (cor vermelha) e um receptor no centro (cor amarela), como mostra a Figura 17.

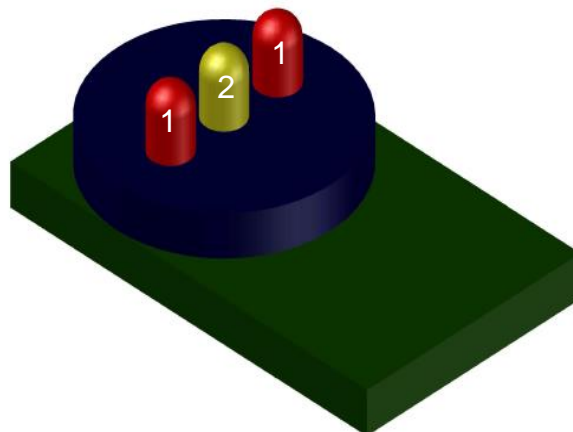


Figura 17 – Modelo do sensor óptico montado para os experimentos. 1 – Emissores. 2 – Receptor.

O sensor foi ligado a um circuito de alimentação que reduz a tensão de 24 V, fornecida pelo Datalogger, para 12 V, adaptando o nível de tensão para os componentes do circuito. O circuito integrado 7812 foi utilizado para a função de rebaixamento de tensão.

O dimensionamento dos sensores é realizado para limitar a corrente elétrica, dessa forma, evitando danificá-los. O sensor infravermelho modelo TIL 25 é de 1,5 V e a corrente máxima 50 mA, como os emissores são conectados em paralelo, a tensão é a mesma e eles dividiram a corrente.

$$12 - 1,5 = R \times 0,05 \quad (1)$$

$$R = 210 \, \Omega \quad (2)$$

Foi utilizado um resistor comercial de 180 ohms, dessa forma, cada emissor recebe aproximadamente 30 mA, mantendo as limitações de fábrica dos emissores.

O receptor infravermelho TIL 78 possui uma queda de tensão de 5 V aproximadamente e corrente máxima de 5 mA, então, o resistor utilizado foi de valor comercial de 10 k Ω , resultando em uma corrente aproximada de 0,7 mA.

O circuito completo configurou-se conforme a ilustração da Figura 18.

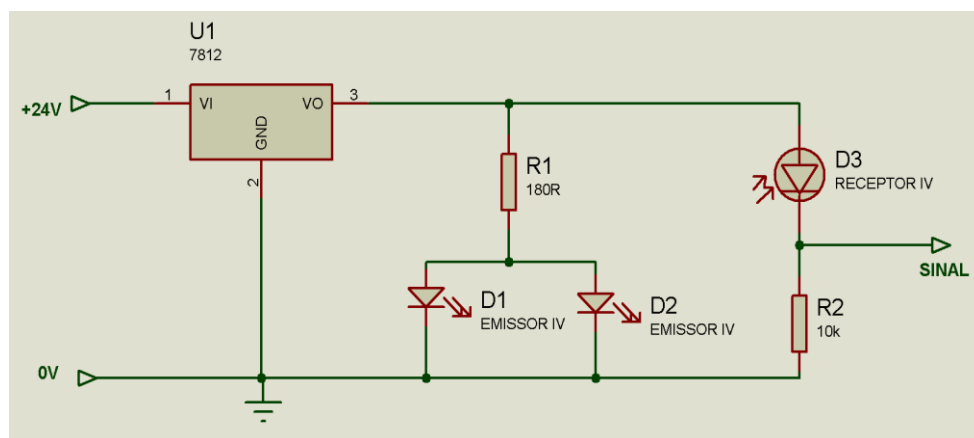


Figura 18 – Esquema do circuito eletrônico com os seus componentes.

O sinal é adquirido diretamente do resistor conectado em série com o sensor receptor, visto que, é preferível medir a variação de tensão no resistor do que no sensor, pois o sensor possui uma saída flutuante que pode interferir nos resultados.

A resposta elétrica foi adquirida através do Fieldlogger e armazenada na memória do mesmo, depois, os dados foram transferidos para um computador, onde foi realizado o tratamento estatístico dos dados.

O sensor após a confecção pode ser visualizado na Figura 19.

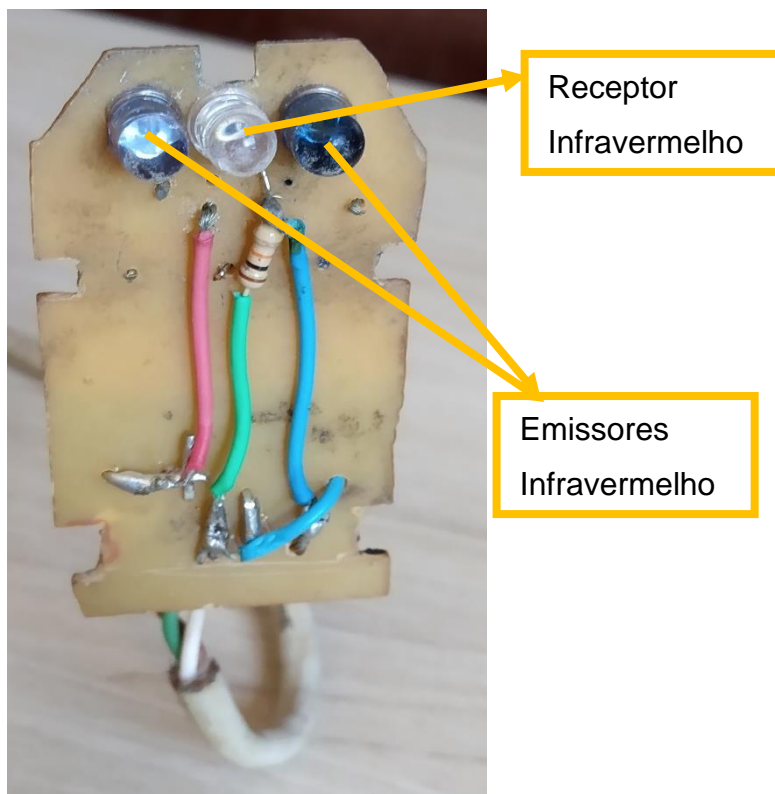


Figura 19 – Circuito eletroeletrônico montado e adaptado para o uso na estrutura de ensaios.

Os sensores do circuito da Figura 19 são encaixados nos furos da estrutura da Figura 16.

3.4. Coleta dos dados

Foram escolhidos fertilizantes com cores distintas, são elas: branca, vermelha, cinza e branca semitransparente, sendo, ureia, cloreto de potássio, superfosfato simples e sulfato de amônia respectivamente, em quatro aberturas diferentes da comporta.

Para cada cor, são 4 aberturas diferentes: abertura total de 16,81 cm²; abertura 2 de 14 cm²; abertura 3 de 9 cm² e abertura mínima de 2,25 cm². Para cada abertura foram feitas 3 repetições, totalizando 48 testes. A quantidade de fertilizante utilizada em cada um dos ensaios foi de 4 kg, pois essa é a capacidade máxima da estrutura cônica.

Também foi verificado a interferência do tamanho dos grânulos dos fertilizantes na vazão, para isso, os fertilizantes foram peneirados em furos de 4 mm, 2 mm e 1 mm. Nos dois últimos foram realizados os testes, da mesma forma, 3

repetições para cada abertura, contudo, devido à grande quantidade de fertilizante, para esses ensaios apenas 1 kg de cada tipo foi utilizada.

No total, foram realizados 144 ensaios, o tempo de cada ensaio variou conforme a abertura da comporta e a frequência de aquisição de dados foi de uma medição para cada 0,1 s, ou seja, 10 Hz.

Na Tabela 2, há um resumo dos dados utilizados nos ensaios.

Tabela 2 – Resumo dos fatores utilizados nos ensaios

Fatores						
Cor (A)			Abertura (B)		Granulometria ©	
Cor	Fertilizante	Sigla	Abertura	Sigla	Tamanho	Sigla
Branca	Ureia	B	2,25 cm ²	A1	Mistura	GM
Vermelha	Cloreto de Potássio	V	9 cm ²	A2	2 mm	G2MM
Cinza	Superfosfato Simples	P	14 cm ²	A3	1 mm	G1MM
Branca Cristal	Sulfato de Amônia	BC	16,81 cm ²	A4		

Fonte: ?? elaboração do autor? (ANO)

3.5. Análise dos dados

O delineamento escolhido foi o fatorial devido à presença de mais de um fator em análise, com os fatores cor do fertilizante, abertura da comporta e tamanho de grânulos, totalizando 3 fatores, sendo, 4 níveis para o fator cor, 4 níveis para o fator abertura da comporta e 3 níveis para o fator tamanho dos grânulos. Os ensaios foram inteiramente casualizados quanto à abertura da comporta, porém, foram realizados todos os ensaios para uma cor de fertilizante para depois processo ser repetido com as demais.

Após a organização dos dados, utilizou-se o Software R para o tratamento estatístico.

Como os dados adquiridos do sensor são valores de tensão, primeiramente é realizada a análise de correlação entre os valores de tensão e vazão para a verificação da relação entre as grandezas. Após, é elaborada a análise estatística utilizando a regressão para os fatores quantitativos abertura da comporta e granulometria e teste de médias para o fator qualitativo cor. Cada fator foi tratado individualmente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados adquiridos na análise da correlação entre os valores de tensão lidos pelo sensor e os valores de vazão calculados são mostrados nas figuras a seguir.

A Figura 20 ilustra o gráfico da vazão em função da tensão para os fertilizantes utilizados em grânulos misturados informando o coeficiente de correlação.

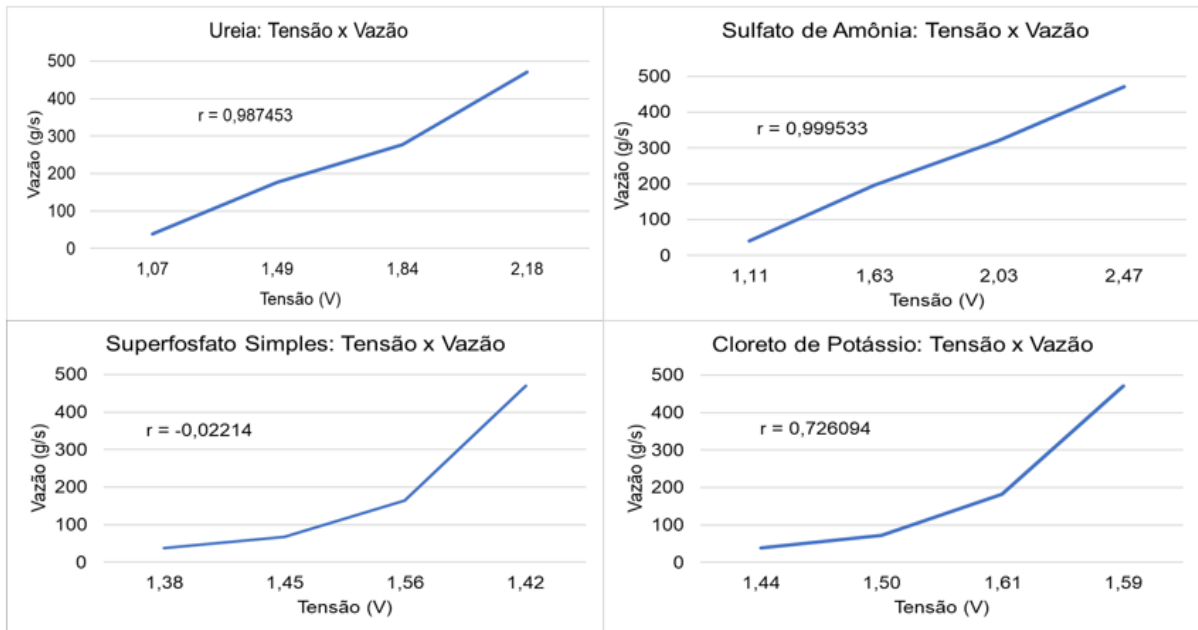


Figura 20 – Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos misturados.

Com a análise da correlação, cujos resultados estão ilustrados na Figura 20, é possível verificar que para a ureia e sulfato de amônia as grandezas possuem correlação, mas, para os fertilizantes mais escuros, superfosfato simples e cloreto de potássio, não há relação entre a vazão e a tensão, no entanto, quando observados os gráficos das Figuras 21 e 22, é possível notar que o resultado é afetado pelos dados lidos na maior abertura.

A Figura 21 ilustra o comportamento da tensão no decorrer do tempo para o ensaio com o superfosfato simples e a Figura 22 para o cloreto de potássio. Já as Figuras 23 e 24 mostram o comportamento da mesma grandeza para a ureia e para o sulfato de amônia, respectivamente. O artifício da média móvel é utilizado para melhor representar o sinal de tensão.

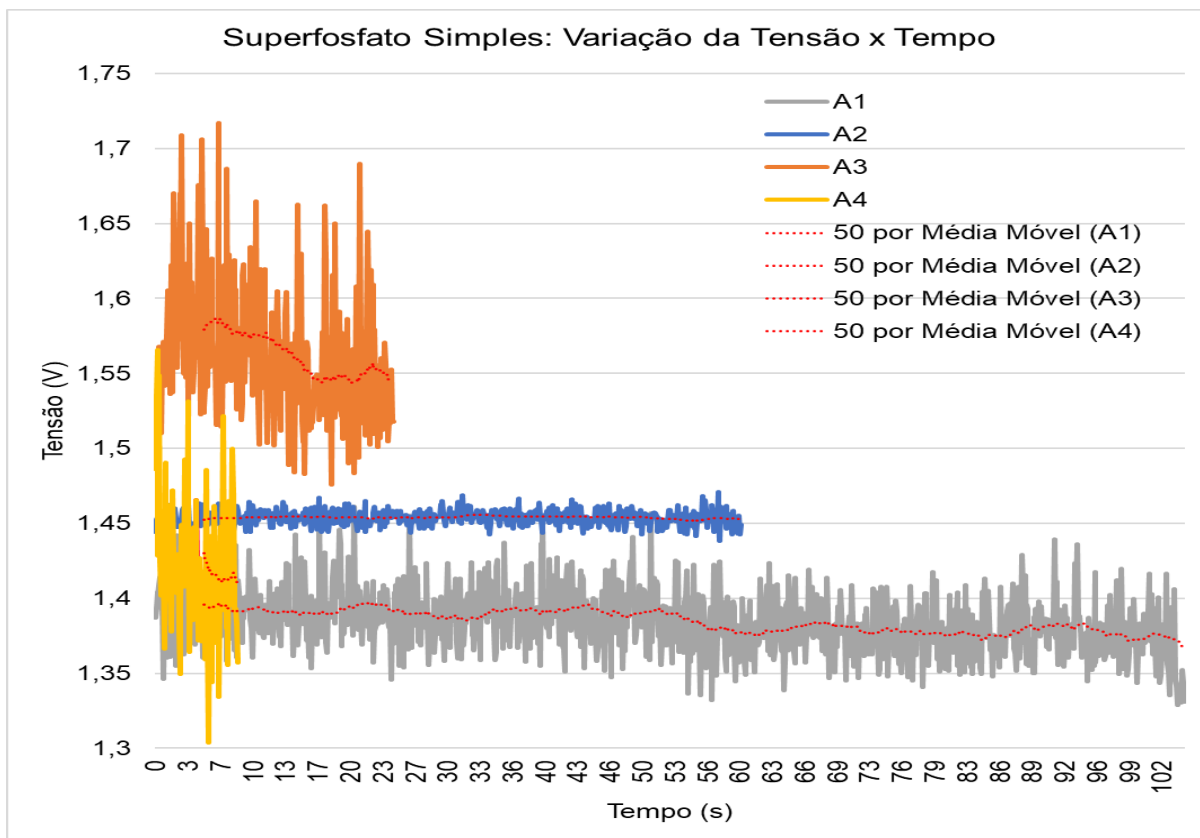


Figura 21 – Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos misturados.

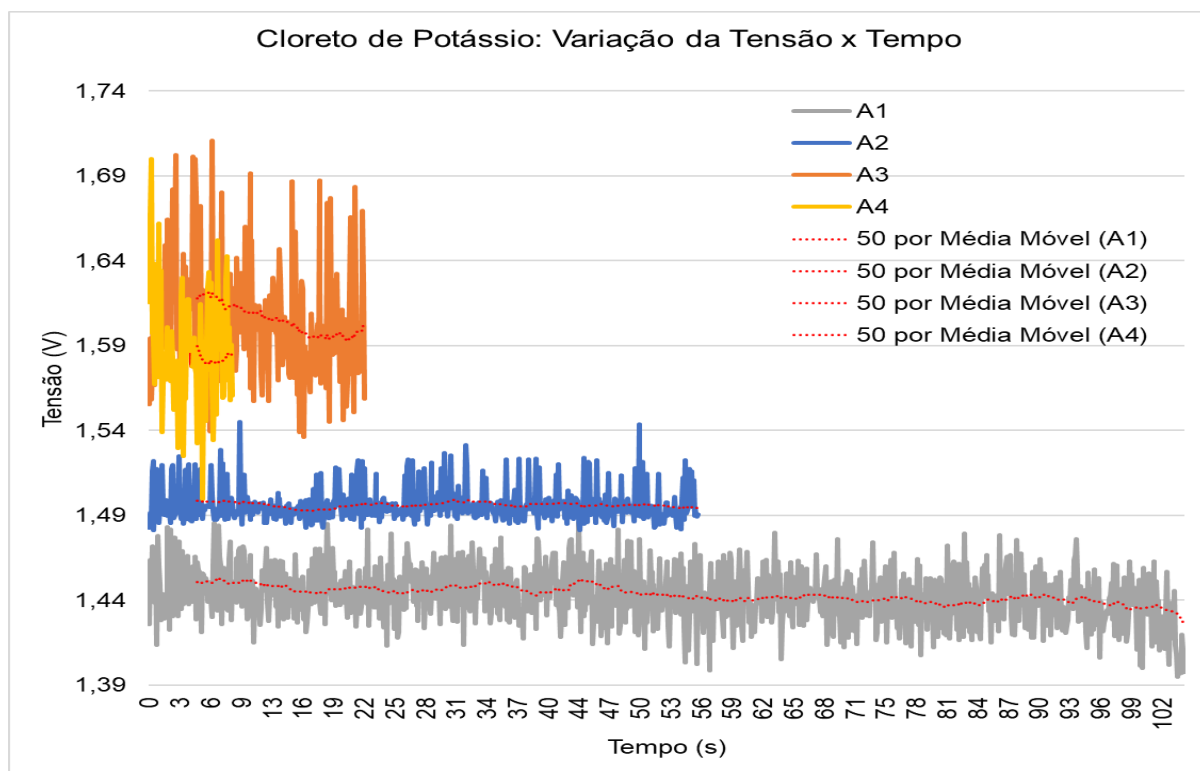


Figura 22 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos misturados.

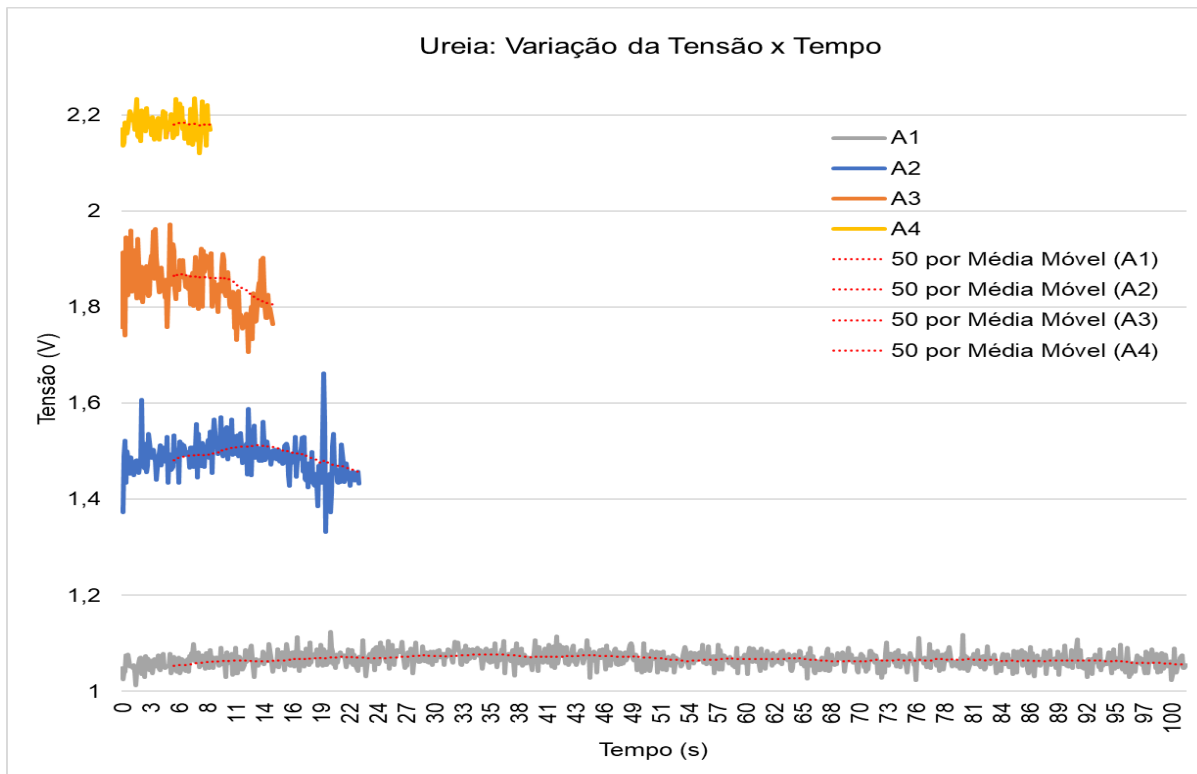


Figura 23 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos misturados.

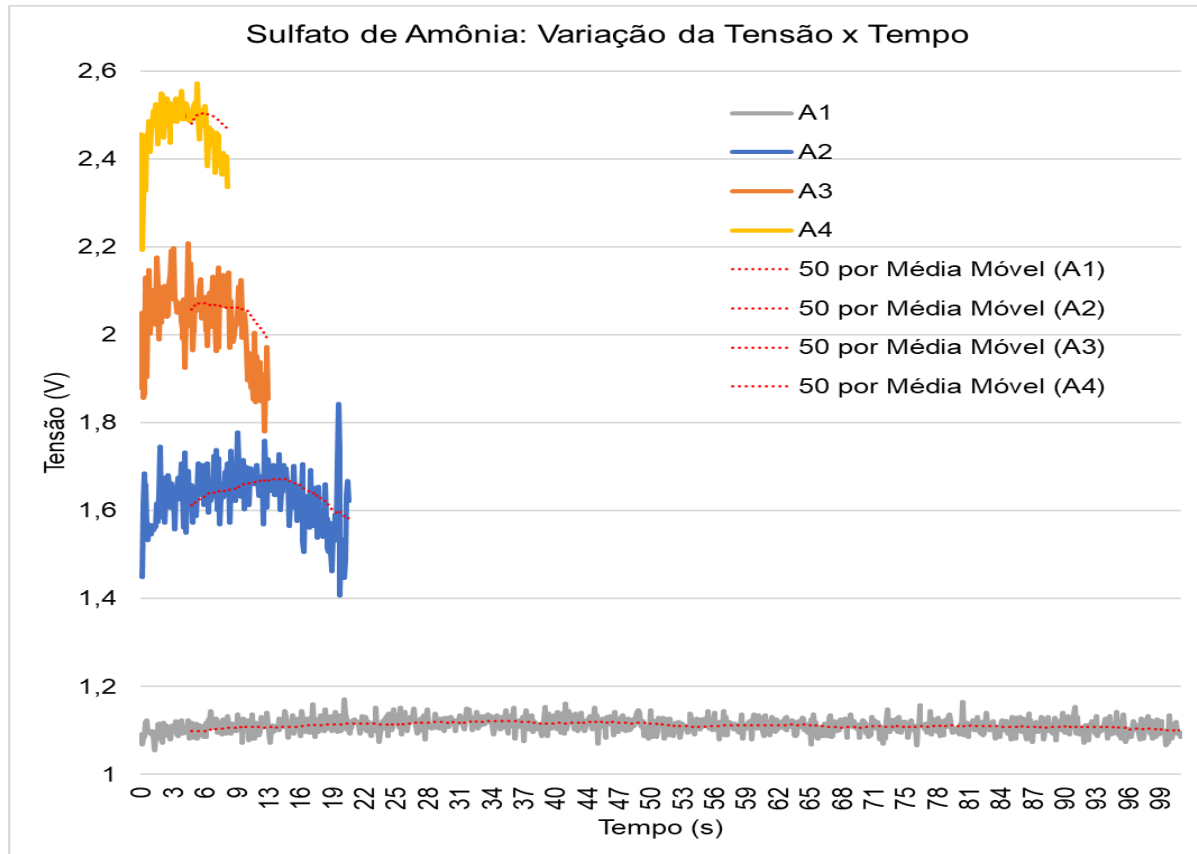


Figura 24 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos misturados.

Para a ureia e o sulfato de amônia, as cores claras, a resposta mostrou que o aumento da abertura da comporta é diretamente proporcional ao nível da vazão, o mesmo não acontece para as cores escuras, devido à leitura anormal do sensor para a maior abertura da comporta (A4). Esse fenômeno se deve à baixa reflexão dos fertilizantes de cor escura, que causa dificuldade na leitura do sensor.

Todavia, a vazão da maior abertura é bastante grande e mesmo nos piores casos não é praticada, com isso, caso fosse ignorada, essa vazão para a ureia e para o cloreto de potássio existiria a correlação entre tensão e vazão, como indicado na Figura 25.

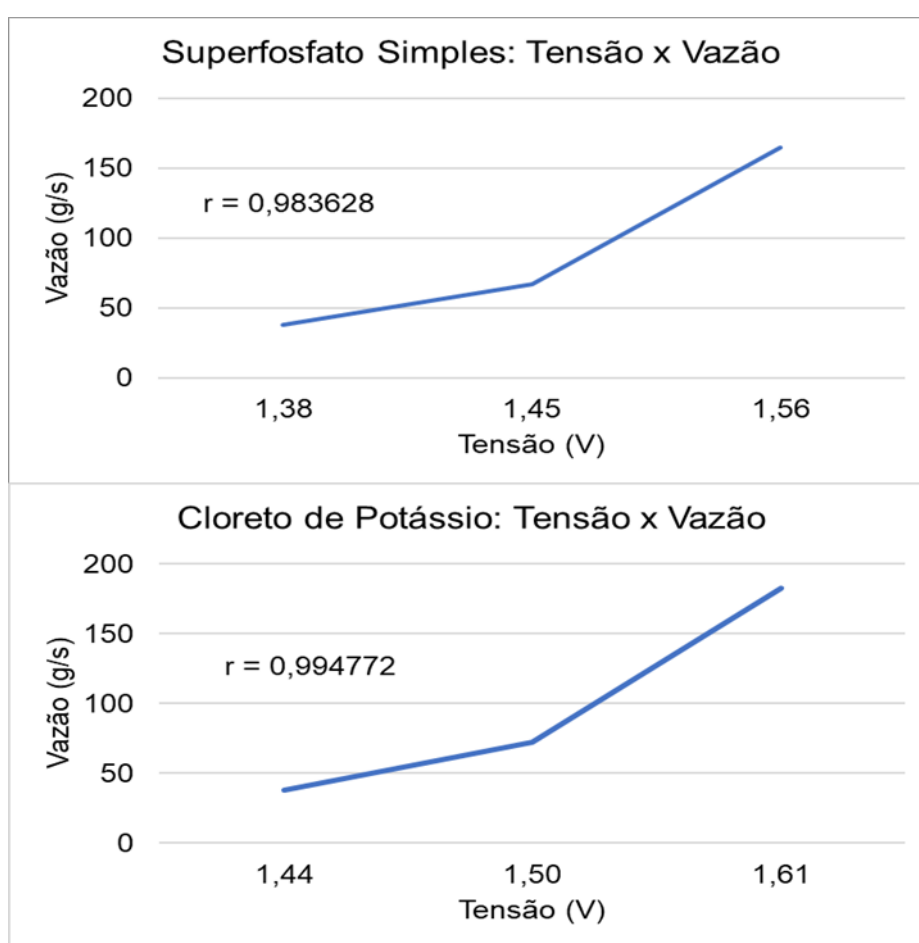


Figura 25 – Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio ignorando a vazão para abertura A4.

Os resultados de correlação para os ensaios realizados com grânulos de 2mm são ilustrados nos gráficos da Figura 26.

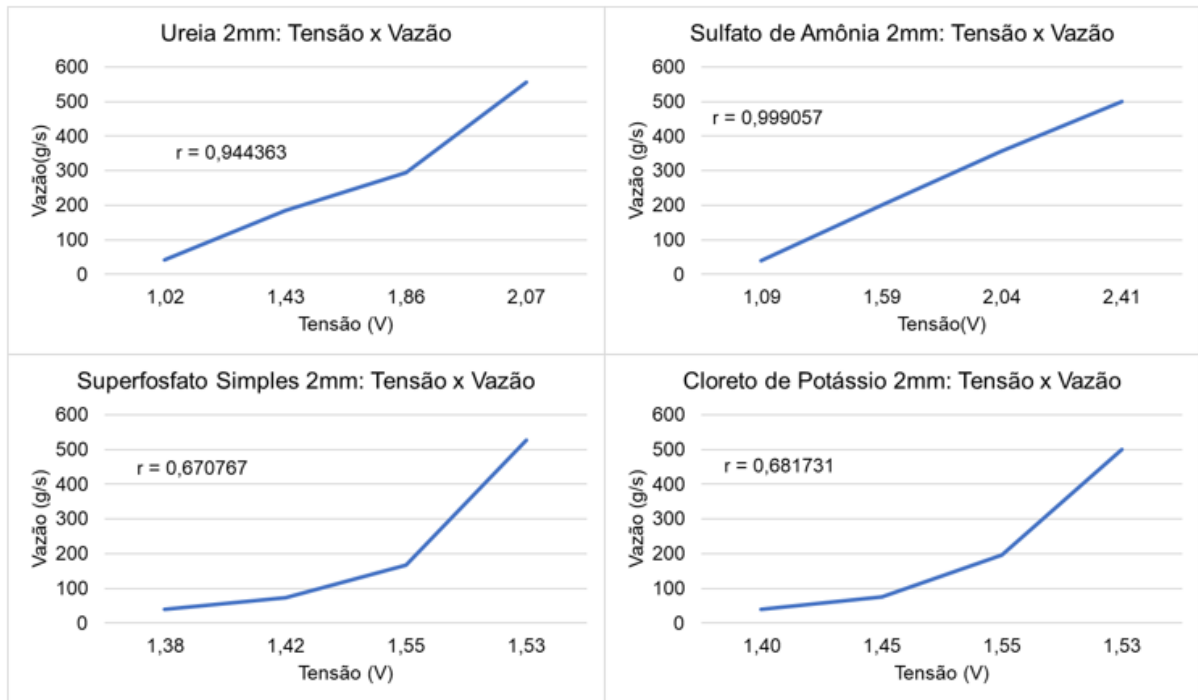


Figura 26 - Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos de tamanho 2mm.

A partir da análise da correlação, cujos resultados então ilustrados na Figura 26, é possível verificar que para a ureia e sulfato de amônia as grandezas possuem correlação, ainda assim, para os fertilizantes mais escuros, superfosfato simples e cloreto de potássio, não há relação entre a vazão e a tensão, contudo, visualizando os gráficos das Figuras 27 e 28, é possível notar que o resultado é afetado pelos dados lidos na maior abertura, assim como, nos ensaios com mistura de grânulos.

A Figura 27 ilustra o comportamento da tensão no decorrer do tempo para o ensaio com o superfosfato simples em grânulos de 2mm e a Figura 28 para o cloreto de potássio. Já as Figura 29 e 30 mostram o comportamento da mesma grandeza em grânulos de 2mm para a ureia e para o sulfato de amônia respectivamente. O artifício da média móvel é utilizado para melhor representar o sinal de tensão, contudo, para os casos de a granulometria, a média móvel é utilizada para intervalos menores devido à quantidade de dados envolvidos.

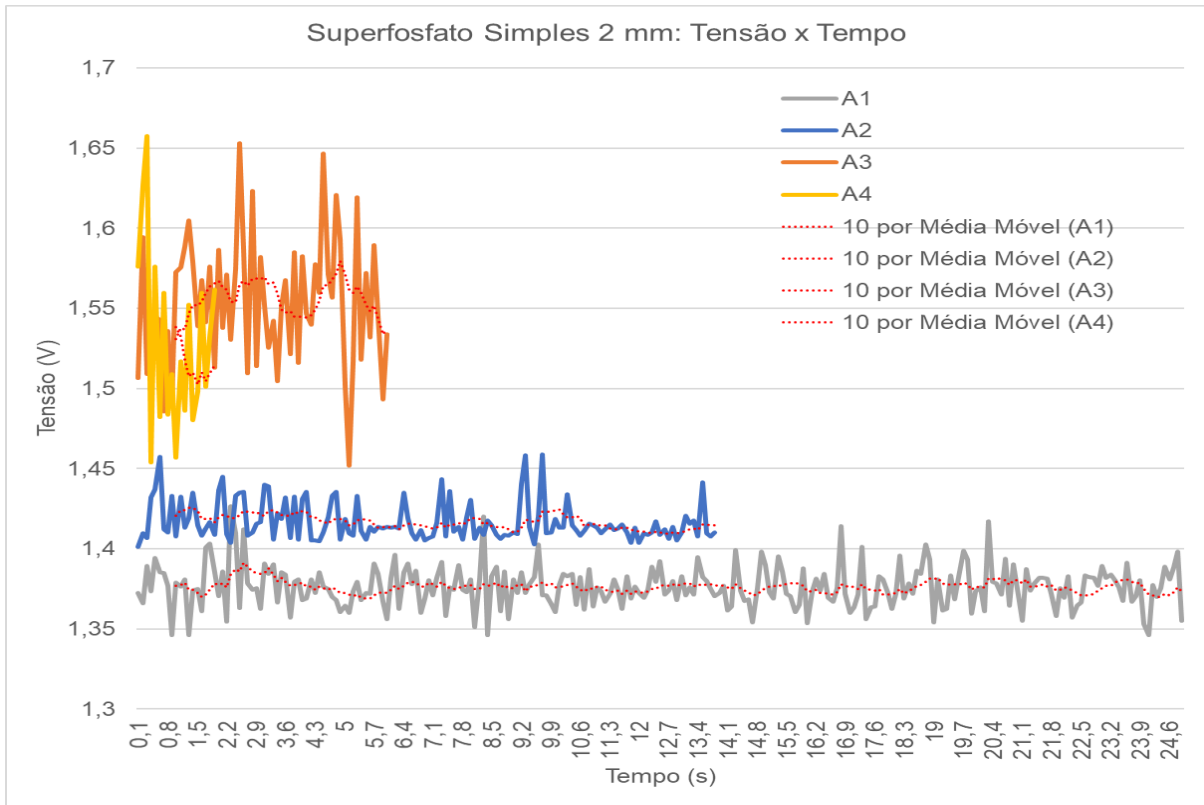


Figura 27 - Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos 2mm.

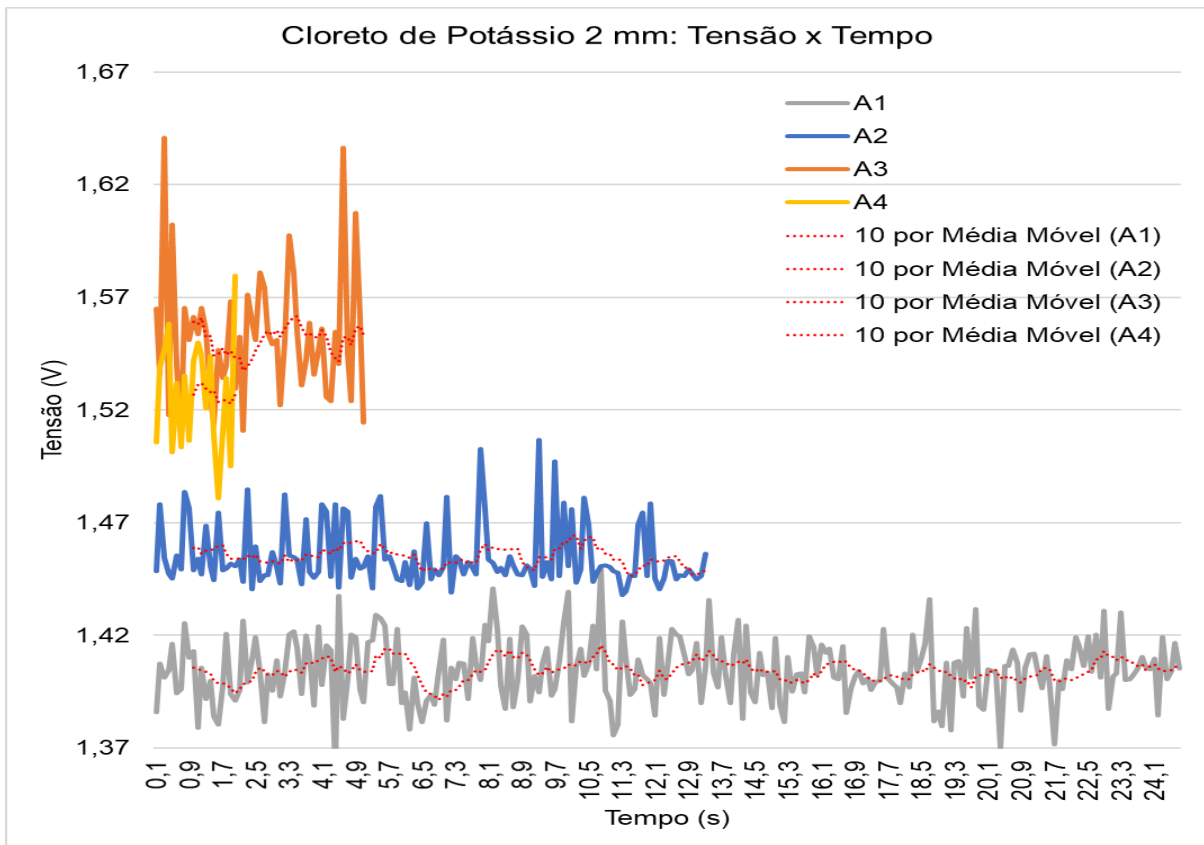


Figura 28 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos 2mm.

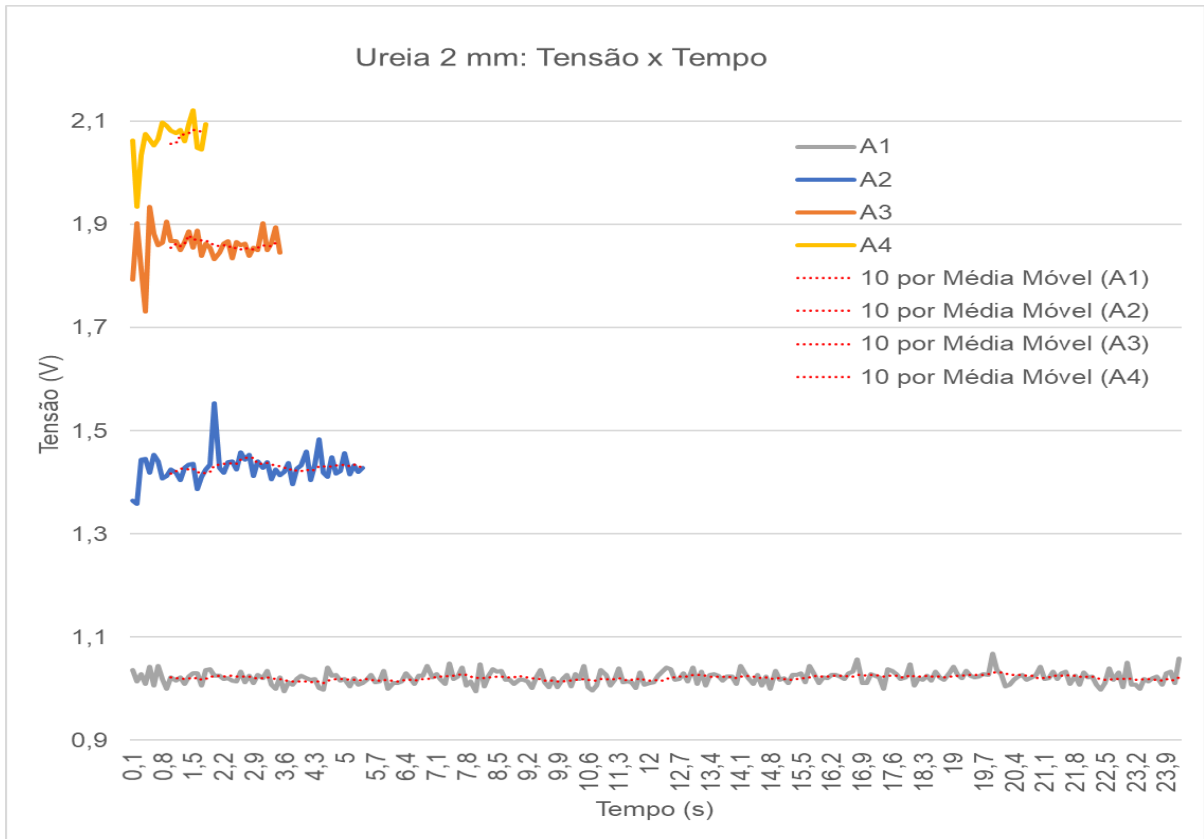


Figura 29 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos 2mm.

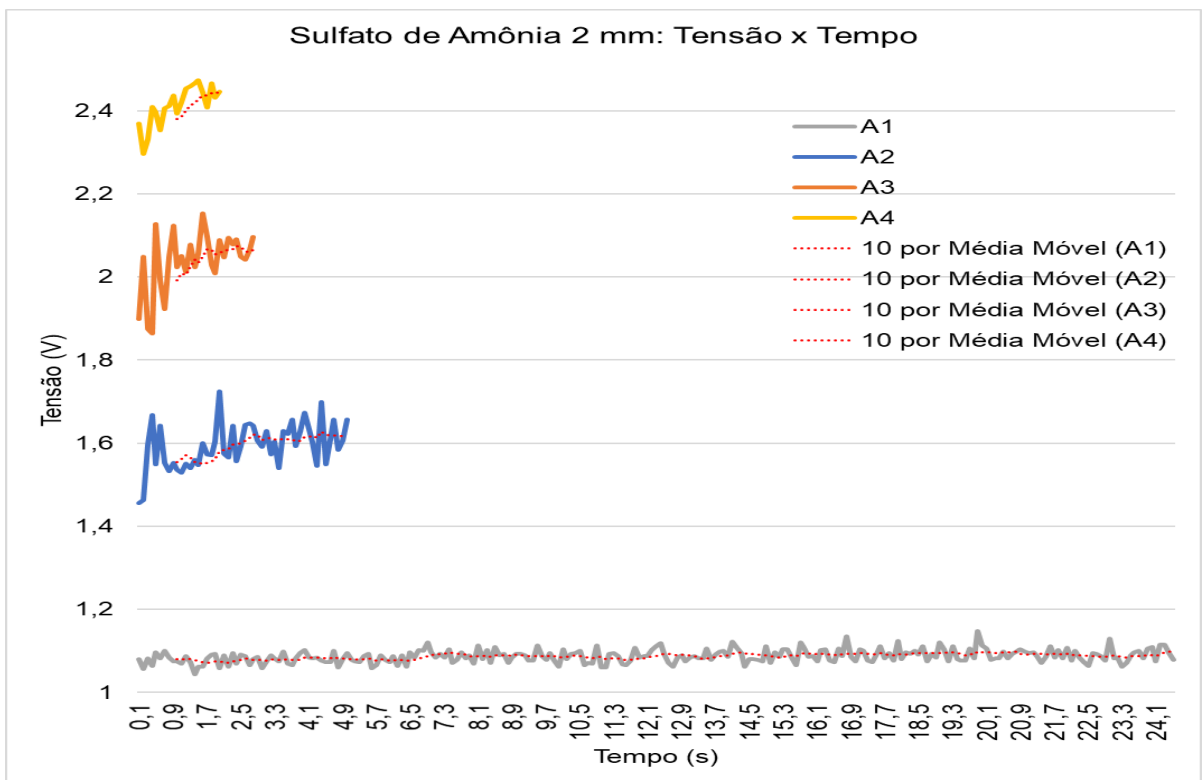


Figura 30 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos 2mm.

Para a ureia e o sulfato de amônia, as cores claras, a resposta mostrou que o aumento da abertura da comporta é diretamente proporcional ao nível da vazão, diferentemente do que ocorreu com as cores escuras, devido à leitura anormal do sensor para a maior abertura da comporta (A4). Esse fenômeno se deve à baixa reflexão dos fertilizantes de cor escura que causa dificuldade na leitura do sensor, como descrito pela literatura. Os resultados com grânulos 2mm e os resultados com mistura de grânulos apresentaram as mesmas divergências de medição.

Da mesma forma que no experimento com mistura de grânulos, caso a maior abertura (A4) fosse ignorada, os resultados mudariam, tornando possível a relação entre os valores de tensão e vazão, retratados na Figura 31.

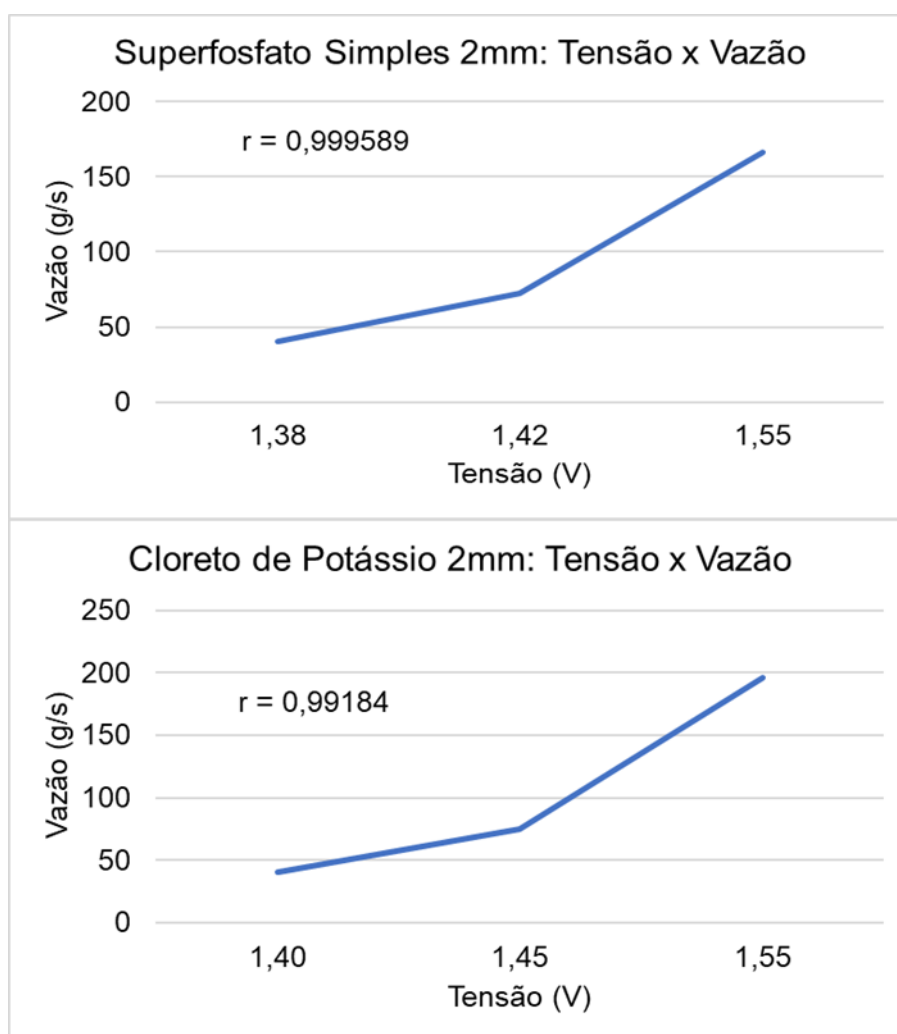


Figura 31 - Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio em grânulos 2mm ignorando a vazão para abertura A4.

Os resultados de correlação para os ensaios realizados com grânulos de 1mm são ilustrados nos gráficos da Figura 32.

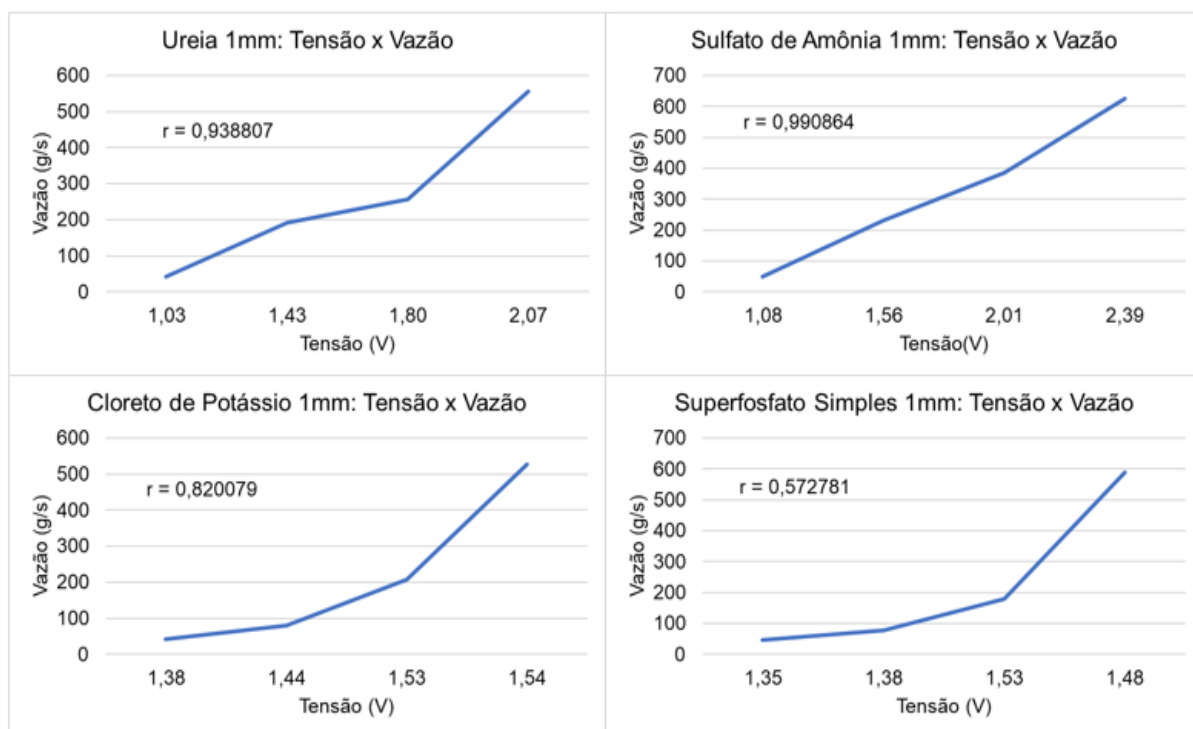


Figura 32 - Correlação entre vazão e tensão para os fertilizantes em grânulos de tamanho 1mm.

Os resultados de correlação para grânulos de tamanho 1mm, diferente dos resultados anteriores, mostra que além da ureia e do sulfato de amônia, o cloreto de potássio também possui correlação entre os valores de tensão e vazão e o superfosfato simples manteve a não correlação. Porém, como mostram os gráficos das Figura 33 e 34, ainda existe a medição diferenciada para a comporta totalmente aberta (A4).

A Figura 33 mostra o comportamento da tensão no decorrer do tempo para grânulos de 1mm do fertilizante superfosfato simples, e a Figura 34 para o cloreto de potássio. Já nas Figuras 35 e 36 são ilustrados o comportamento para os fertilizantes ureia e sulfato de amônia respectivamente.

O artifício da média móvel é utilizado para melhor representar os resultados, sendo que, foram mantidos os intervalos dos ensaios para grânulos de 2mm, pois, a quantidade de fertilizante utilizada foi a mesma para cada um deles.

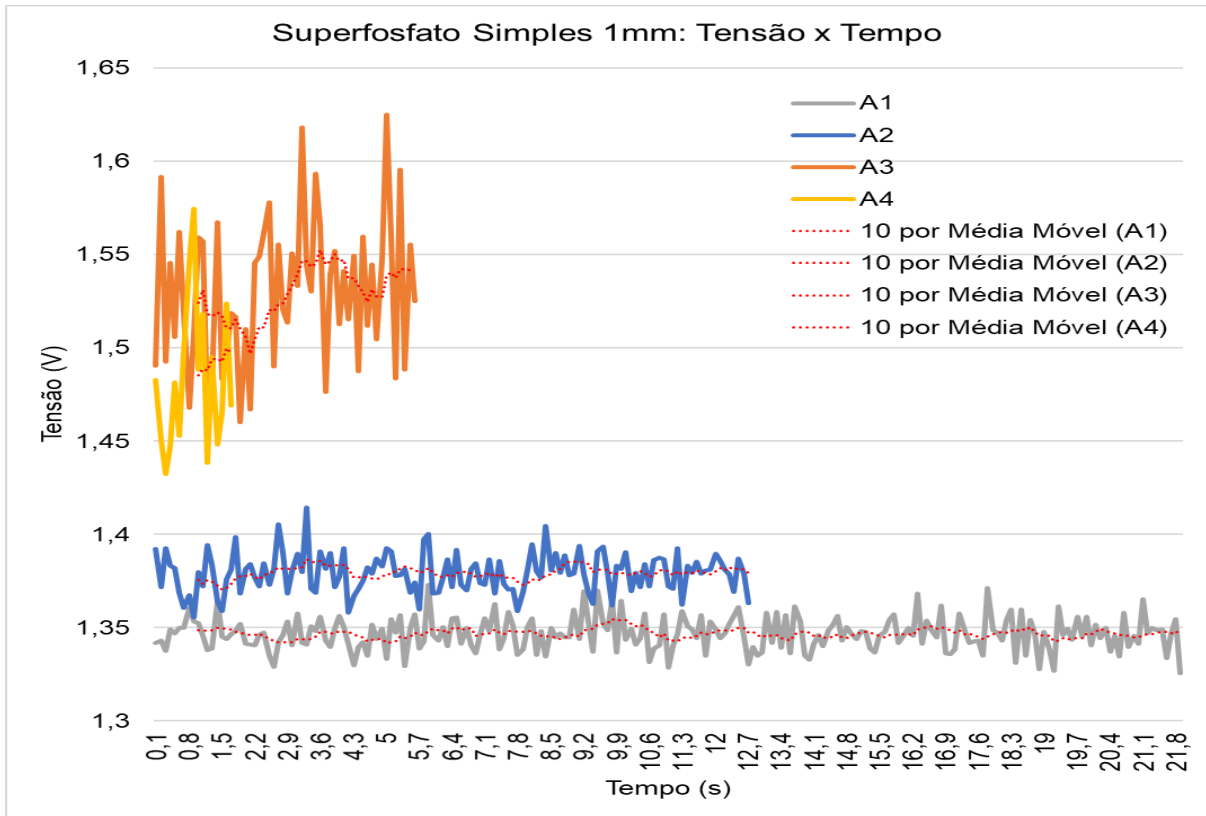


Figura 33 - Comportamento da tensão no tempo para o superfosfato simples em todas as aberturas para grânulos 1mm.

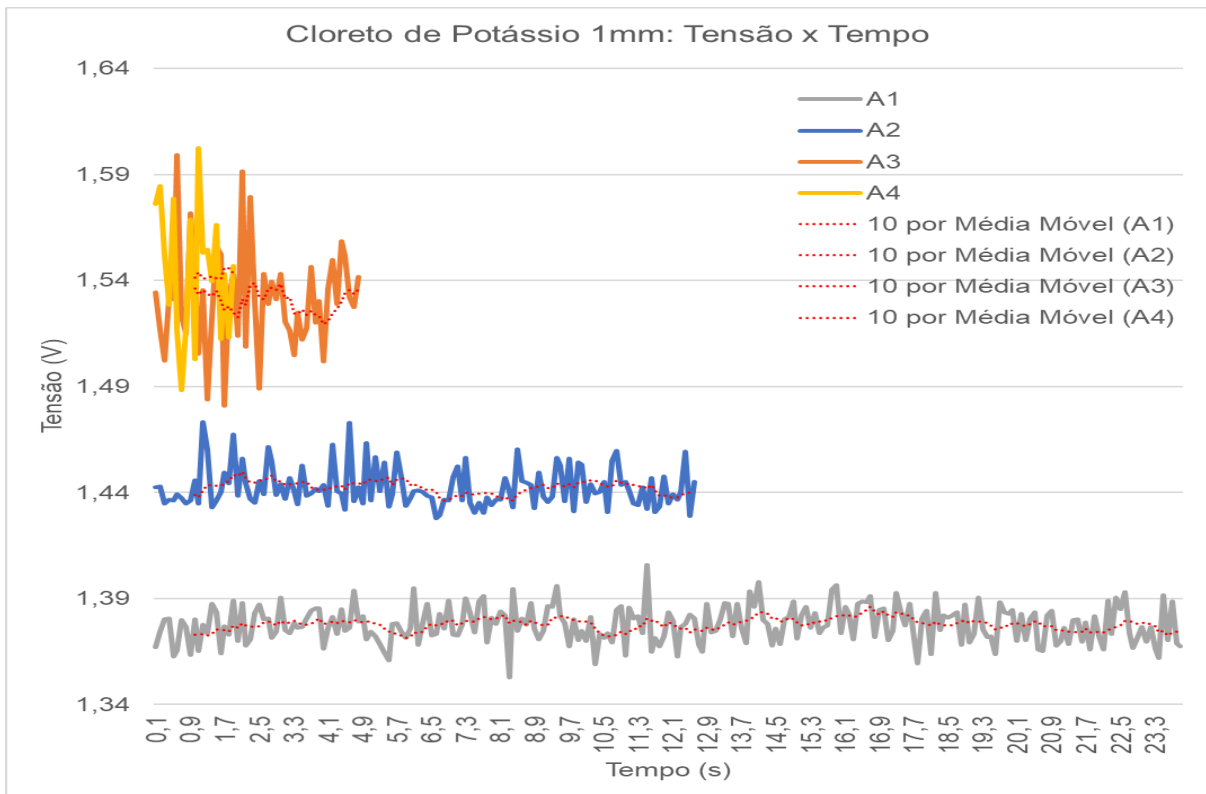


Figura 34 - Comportamento da tensão no tempo para o cloreto de potássio em todas as aberturas para grânulos 1mm.

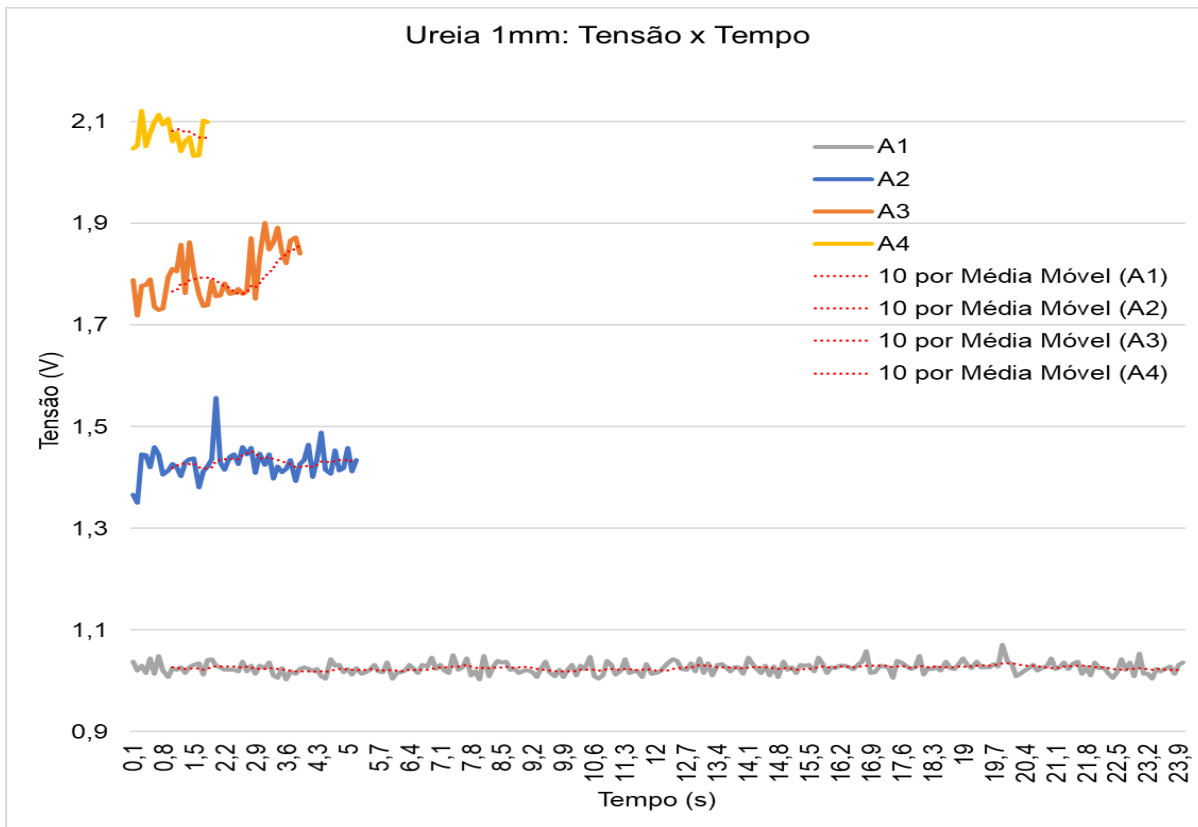


Figura 35 - Comportamento da tensão no tempo para a ureia em todas as aberturas para grânulos 1mm.

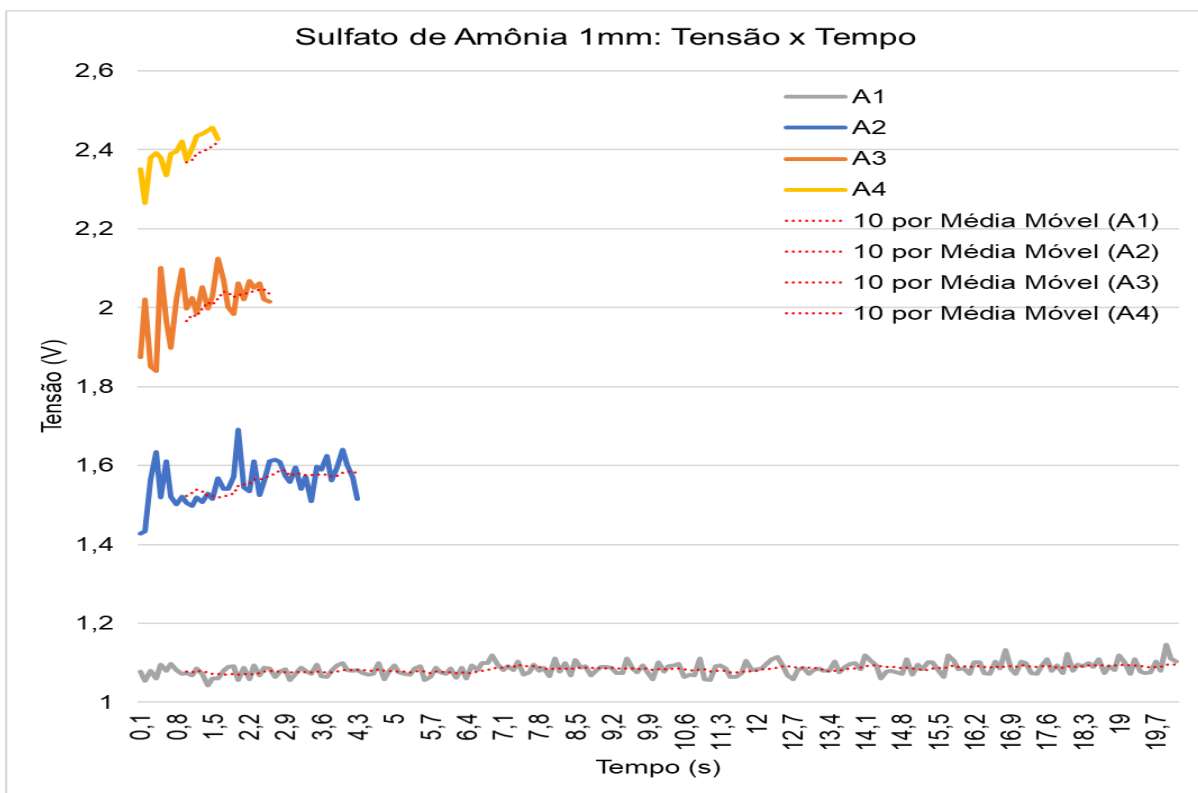


Figura 36 - Comportamento da tensão no tempo para o sulfato de amônia em todas as aberturas para grânulos 1mm.

Novamente, nas cores mais escuras, os produtos superfosfato simples e cloreto de potássio, devido à baixa reflectância das cores, apresentaram dificuldades na medição de tensão por parte do sensor óptico, como explicitado pela literatura.

Caso a maior vazão fosse ignorada pelos mesmos motivos já mencionados, os valores de tensão e vazão para os fertilizantes superfosfato simples e cloreto de potássio com tamanho de 1mm, poderiam ser correlacionados, como visto nos gráficos da Figura 37.

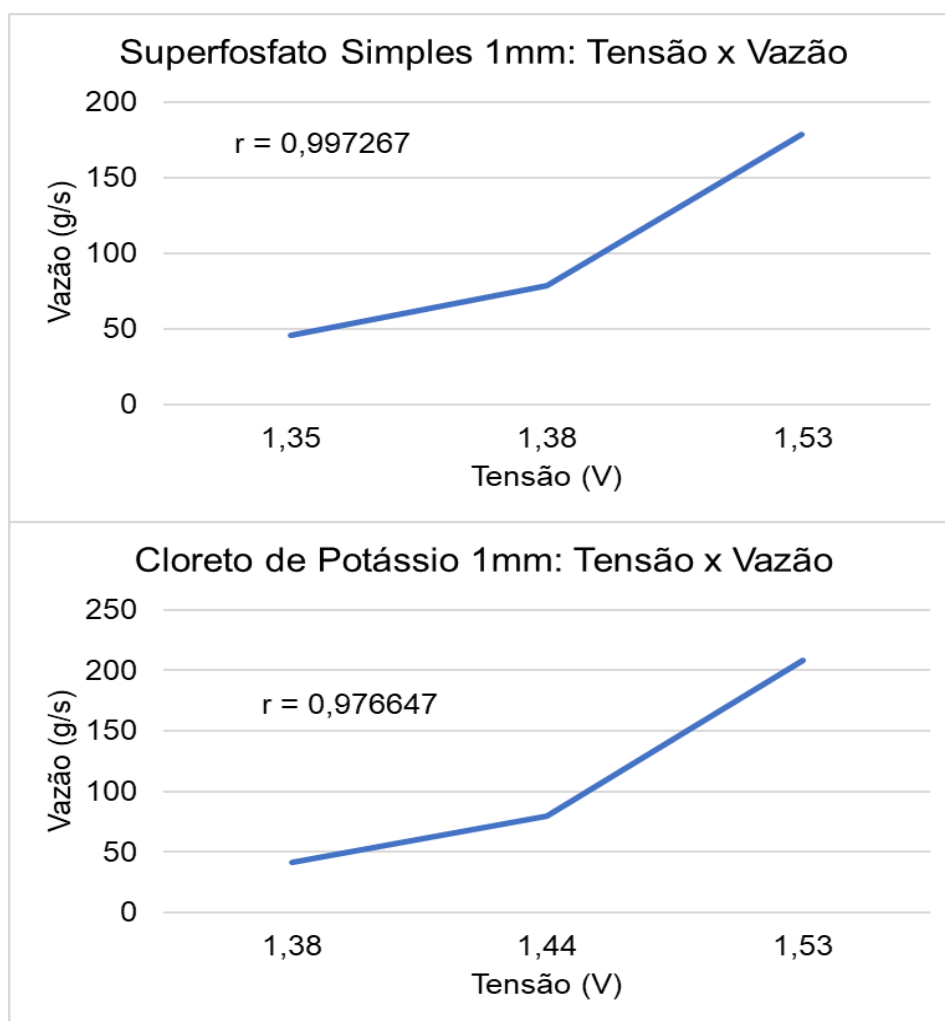


Figura 37 - Correlação entre tensão e vazão para o superfosfato simples e cloreto de potássio em grânulos 1mm ignorando a vazão para abertura A4.

Findada a análise da correlação, passou-se à análise estatística com a intenção de verificar a interação entre os fatores. Primeiramente com relação aos fatores abertura da comporta (B) e cor (C), posteriormente, entre granulometria (A) e abertura da comporta (B).

Os resultados das análises estatísticas por regressão, com 95% de significância, para o fator de abertura da comporta para cada cor de fertilizante utilizando mistura de grânulos, são representados na Figura 38, sendo um gráfico para cada tipo de fertilizante, ureia, sulfato de amônia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

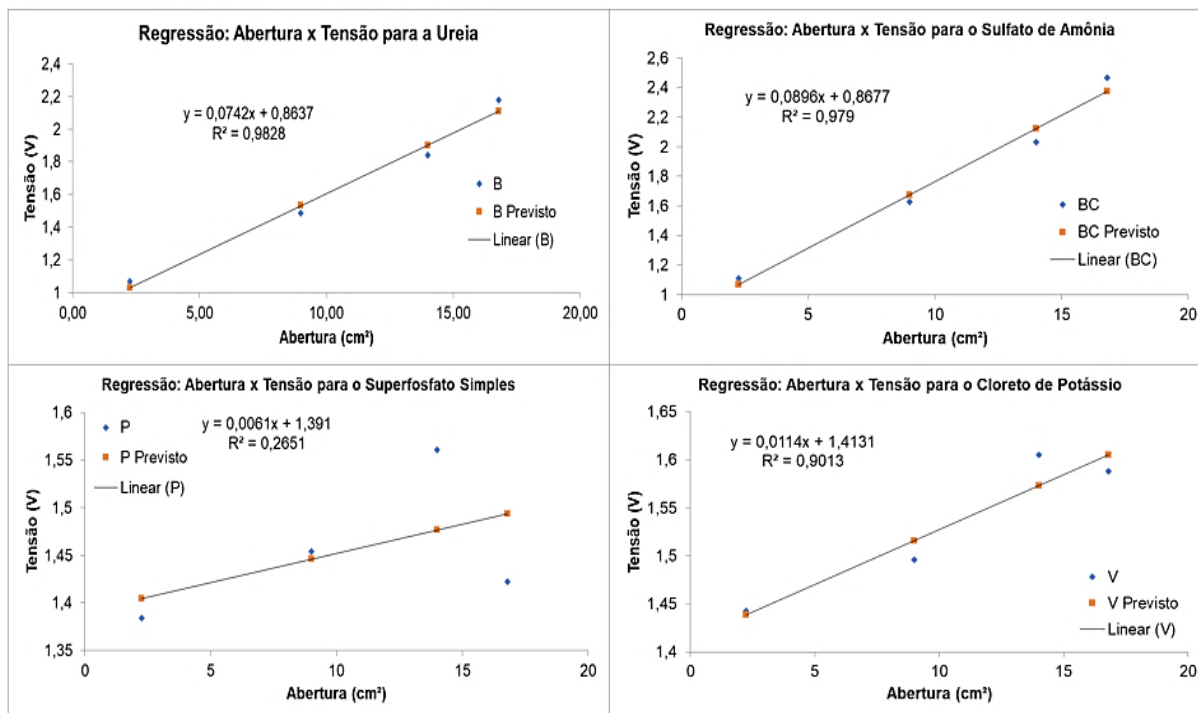


Figura 38 – Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para mistura de grânulos.

De acordo com a Figura 38 é possível verificar que os valores dos coeficientes de determinação R^2 são muito próximos a unidade para os fertilizantes ureia e sulfato de amônia, que são os que possuem as cores mais claras, sendo possível considerar que a resposta do sensor seja linear para ambos.

Para os fertilizantes cloreto de potássio e superfosfato simples, que possuem as cores mais escuras, o vermelho e cinza, respectivamente, os valores do coeficiente de determinação são menores, contudo, para o primeiro é possível considerar o sinal de tensão linear. No segundo, essa afirmação não é válida, isso se deve ao fato de que para a maior abertura (A4), ao invés de o valor da tensão continuar subindo, ele sofre um decréscimo e para o superfosfato simples essa diminuição é mais acentuada. Em contraste com a literatura, o motivo de ocorrer a diminuição da tensão para os fertilizantes de cores escuras na maior abertura é a limitação do sensor para essas cores, que está relacionada à reflectância.

Os resultados das análises estatísticas por regressão para o fator de abertura da comporta para cada cor de fertilizante utilizando grânulos de 2mm, são apresentados na Figura 39 e para grânulos de tamanho 1mm, na Figura 40.

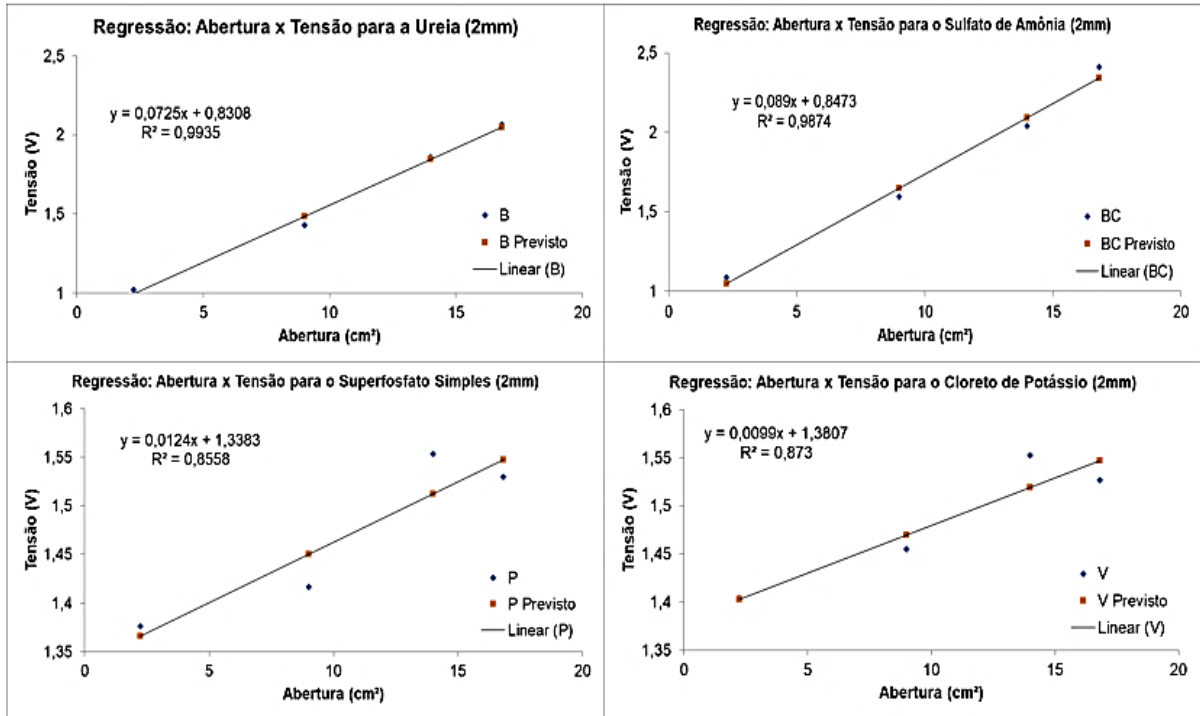


Figura 39 - Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para grânulos de 2mm.

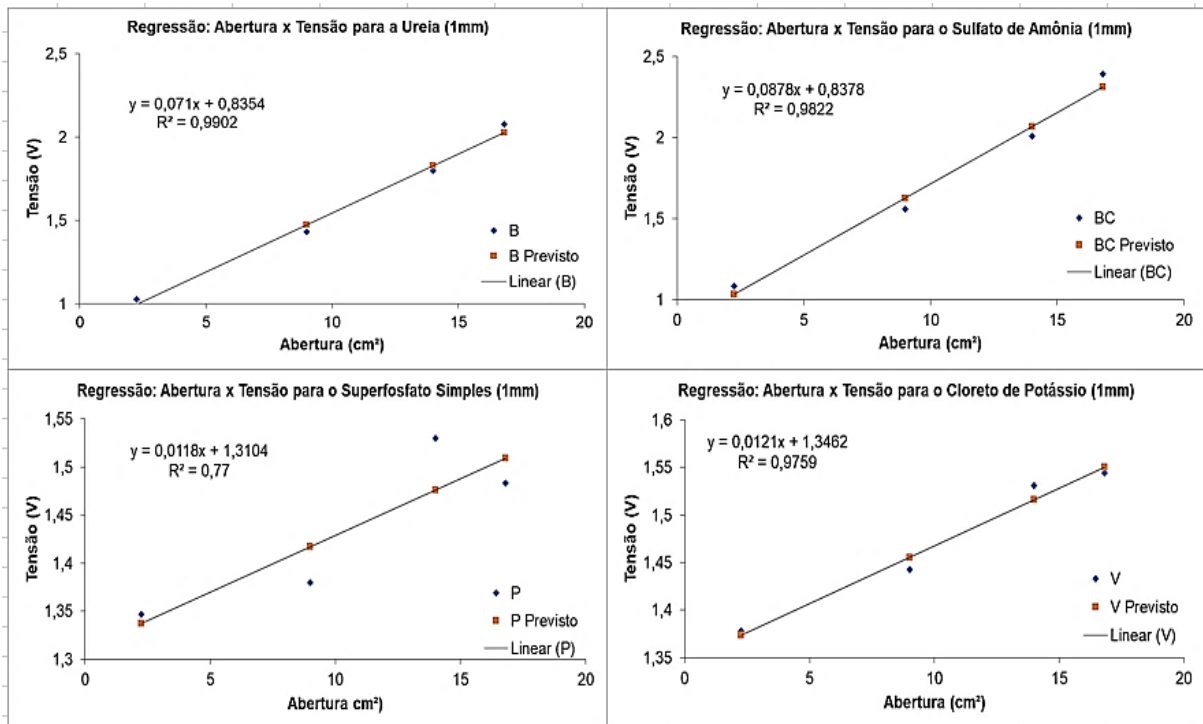


Figura 40 - Resultados das regressões realizadas para o fator abertura da comporta com a resposta de tensão do sensor para grânulos de 1mm.

Os resultados das análises estatísticas por regressão, com 95% de significância, para o fator granulometria para o fertilizante ureia e distribuídos nas quatro aberturas: A1, A2, A3 e A4, são apresentados na Figura 41, sendo um gráfico para cada abertura: A1 (2,25 cm²), A2 (9 cm²), A3 (14 cm²) e A4 (16,81 cm²). O índice 1 corresponde ao nível G1MM, 2 ao nível G2MM e 3 ao nível GM, sendo grânulos de 1mm, grânulos de 2mm e mistura de grânulos, respectivamente.

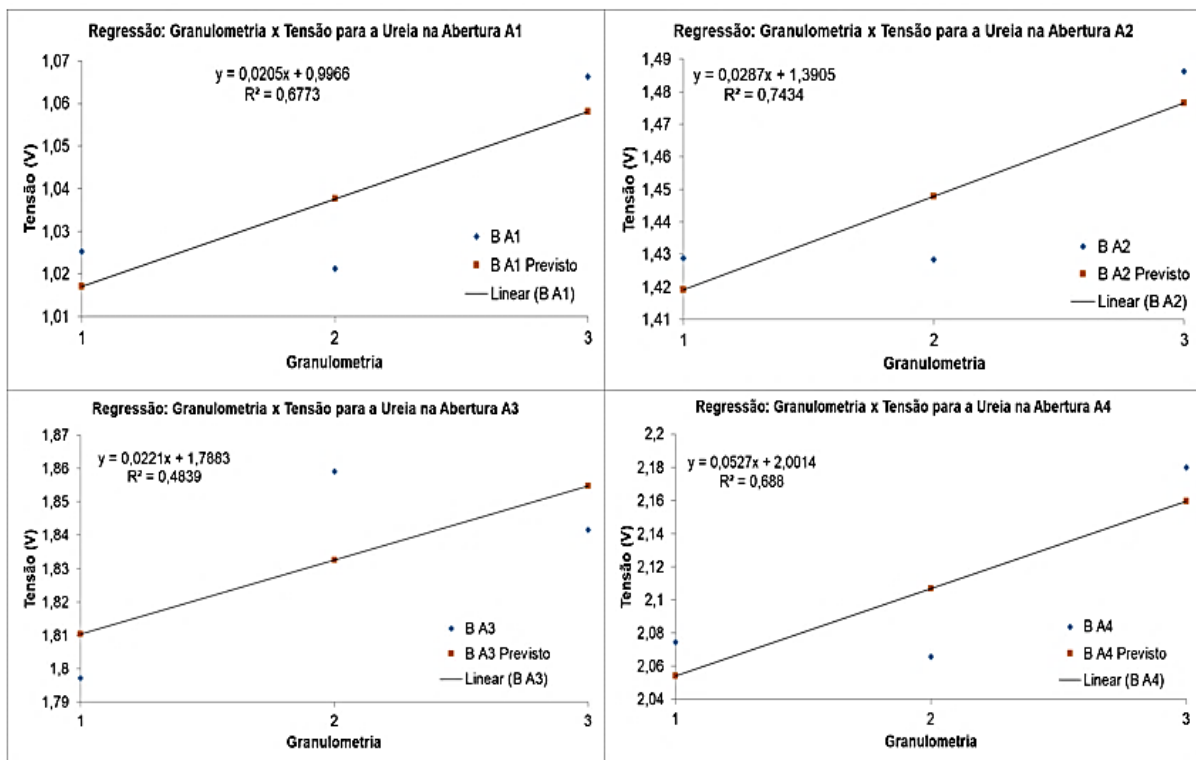


Figura 41 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para a ureia.

Os gráficos que compõem a Figura 41 mostram que para a ureia, fertilizante de cor branca, para qualquer abertura de comporta, o coeficiente de determinação R² não está próximo a unidade. Portanto, para a ureia, a resposta de tensão em relação ao fator granulometria não é linear.

Pode ser observado que há o aumento dos níveis de tensão com o aumento da abertura da comporta e é possível visualizar uma tendência de resposta para as aberturas A1, A2 e A4, diferindo-se apenas na abertura A3, que apresenta o menor coeficiente de determinação. O melhor resultado é verificado na abertura A2.

Nas Figuras 42, 43 e 44 são mostrados os resultados da regressão, com 95% de significância, entre a granulometria e a resposta de tensão, para o sulfato de amônia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

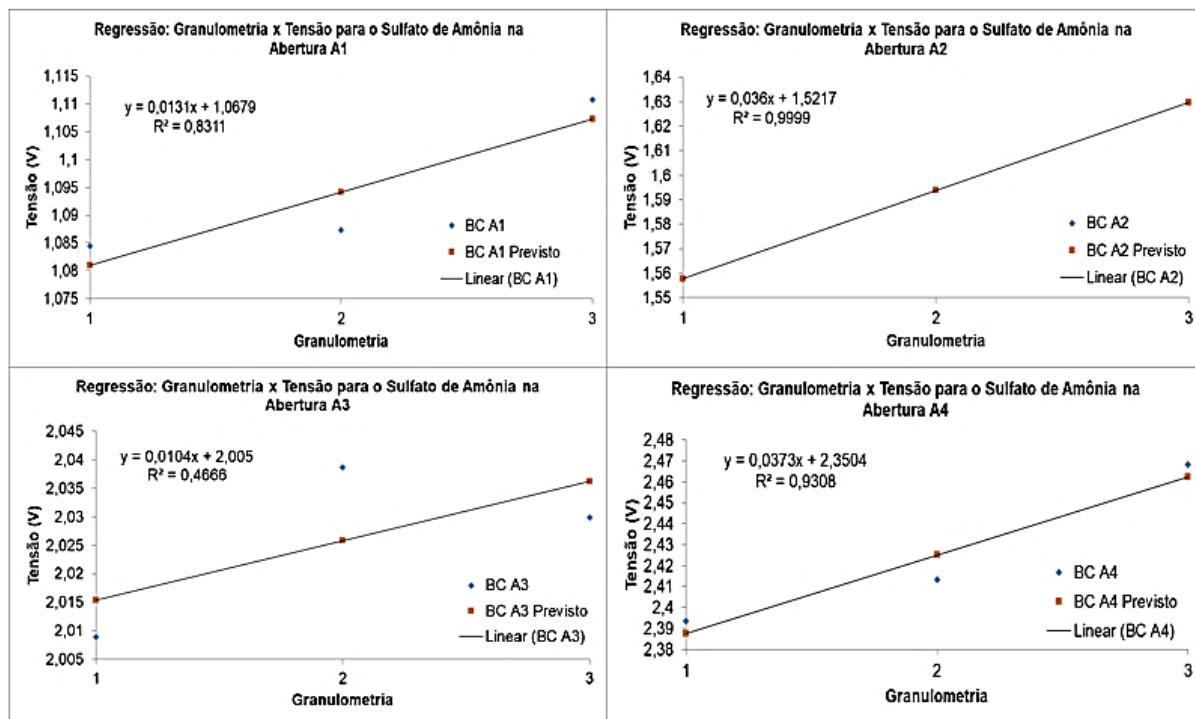


Figura 42 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o sulfato de amônia.

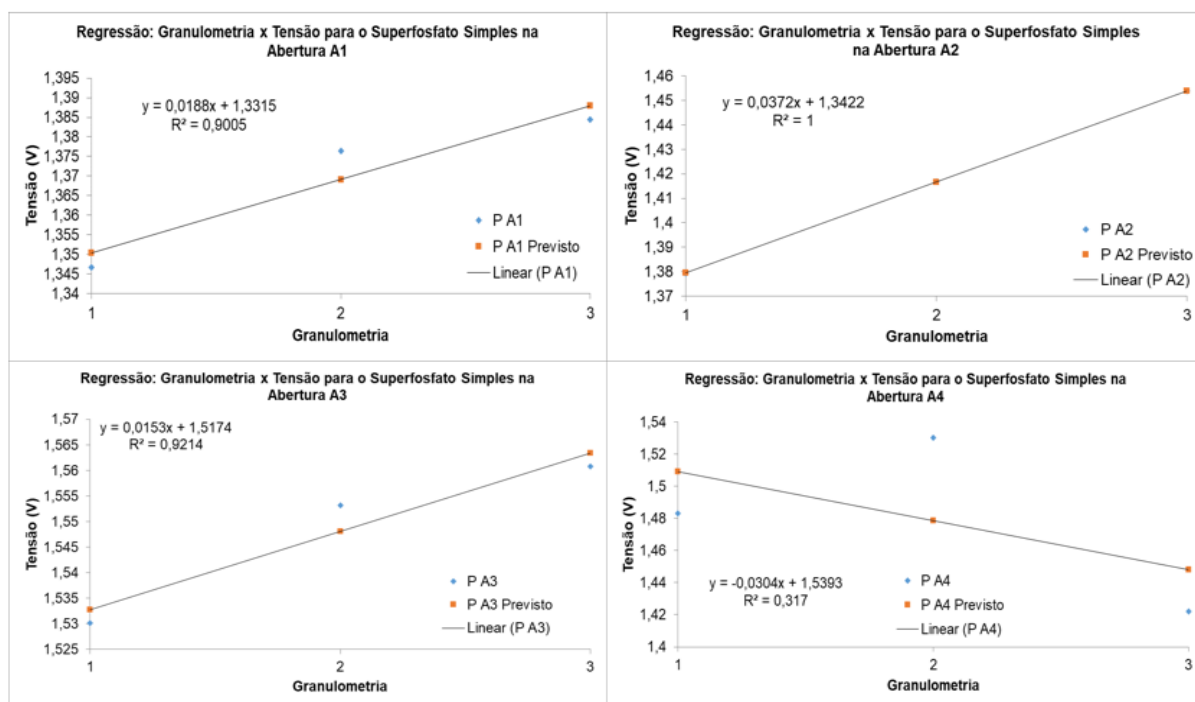


Figura 43 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o superfosfato simples.

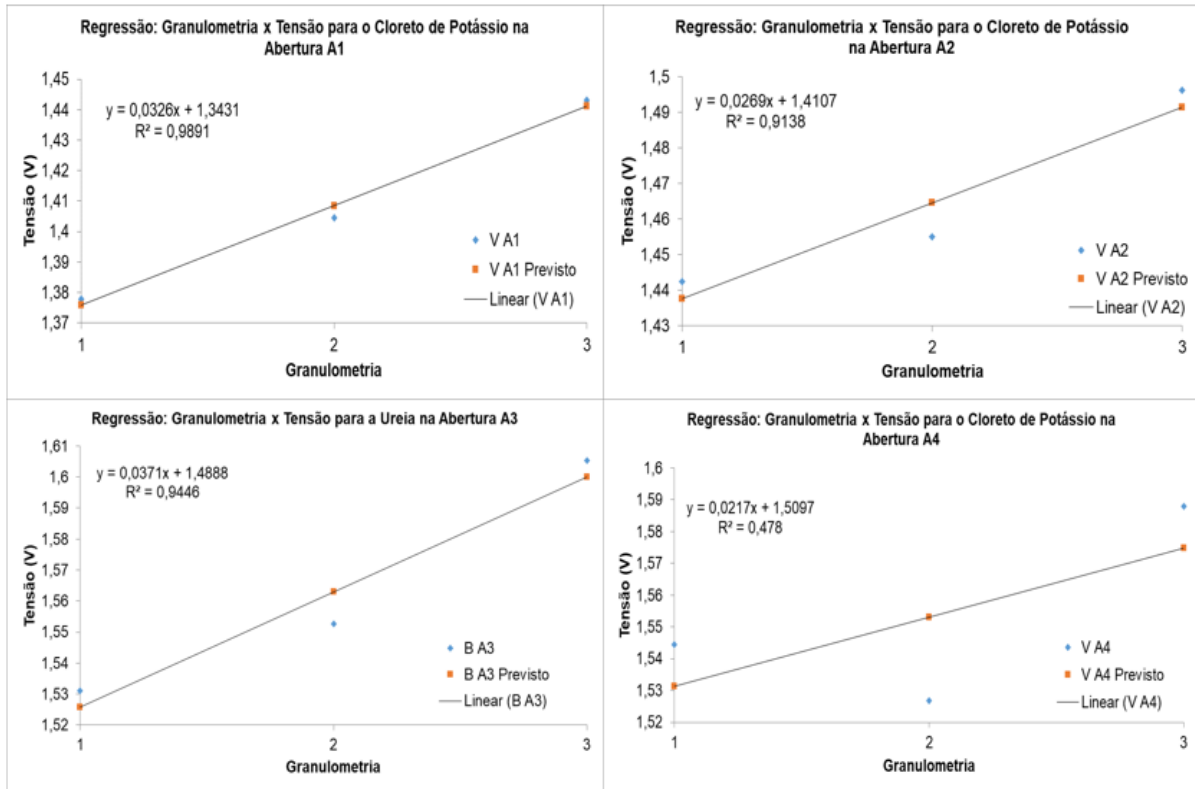


Figura 44 - Resultados das regressões realizadas para o fator granulometria com a resposta de tensão do sensor para o cloreto de potássio.

Na Figura 42 é possível visualizar que os resultados obtidos para o sulfato de amônia são semelhantes aos observados para a ureia, contudo, é possível afirmar que para as aberturas A2 e A4 a resposta pode ser considerada linear, novamente o pior caso é a abertura A3 e o melhor a A2.

Na Figura 43 o caso é diferente, pois para aberturas maiores, em concordância com a literatura, o superfosfato simples, por possuir baixa reflectância, apresenta o contexto menos favorável na abertura A4, contudo, para as demais aberturas, as respostas podem ser consideradas lineares.

Na Figura 44, para o cloreto de potássio, o caso é semelhante ao encontrado para o superfosfato simples.

Apesar de que em aberturas maiores, devido à baixa reflectância, os resultados serem não lineares para as cores escuras, para as outras aberturas, analisando o fator granulometria, os resultados para essas cores são melhores que os observados nas cores claras.

Existe semelhança nos resultados encontrados para cores claras e para cores escuras, devido às reflectâncias das cores.

Para o fator cor, por ser qualitativo, a análise foi realizada por teste de médias de tukey, com 95% de significância, separados por granulometria e abertura. Os resultados são descritos nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para mistura de grânulos e aberturas

GM				
	A1	A2	A3	A4
P	1,384 a	P 1,454 a	P 1,561 a	P 1,422 a
V	1,443 b	V 1,496 a	V 1,605 a	V 1,588 b
B	1,066 c	B 1,486 a	B 1,842 b	B 2,322 c
BC	1,111 d	BC 1,630 b	BC 2,030 c	BC 2,468 d

Tabela 4 - Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para grânulos de 2 mm e aberturas

G2MM				
	A1	A2	A3	A4
P	1,376 a	P 1,417 a	P 1,553 a	P 1,511 a
V	1,404 b	V 1,455 a	V 1,553 a	V 1,527 a
B	1,021 c	B 1,428 a	B 1,859 b	B 2,066 b
BC	1,087 d	BC 1,594 b	BC 2,039 c	BC 2,413 c

Tabela 5 - Resultados da análise da tensão para as cores, por teste de tukey com 95% de significância, para grânulos de 1 mm e aberturas

G2MM				
	A1	A2	A3	A4
P	1,347 a	P 1,379 a	P 1,530 a	P 1,483 a
V	1,378 b	V 1,442 b	V 1,531 a	V 1,544 b
B	1,025 c	B 1,429 b	B 1,797 b	B 2,075 c
BC	1,084 d	BC 1,558 c	BC 2,009 c	BC 2,394 d

Analisando as Tabelas 3, 4 e 5 é possível identificar que, quando a comparação é realizada apenas entre o fator cor e a resposta de tensão, as extremidades, ou seja, as aberturas A1 e A4, apresentam os melhores resultados. Para as demais aberturas existem constantemente valores que são estatisticamente iguais, concentrando-se os piores casos na abertura A2.

É possível notar que conforme há o aumento da abertura da comporta, há aumento do nível de tensão na resposta do sensor, contudo, para as cores escuras, há a diminuição do valor de tensão na maior abertura (A4) devido à baixa reflectância

da cor. Outra tendência que pode ser observada é que sem mudar a abertura, os valores de tensão são crescentes das cores mais escuras para as mais claras, entretanto, essa tendência não é observada na menor abertura (A1), esse efeito também está relacionado às reflectâncias das cores.

5. CONCLUSÕES

Para os fertilizantes sulfato de amônia (BC) e ureia (B), que possuem cores mais claras, o sensor óptico infravermelho consegue reproduzir fielmente a vazão na estrutura de ensaio com a leitura dos valores tensão, excetuando-se na menor abertura que os valores são estatisticamente iguais.

Para os fertilizantes cloreto de potássio (V) e superfosfato simples (P) apenas para algumas situações é possível a reprodução da vazão com a leitura da tensão.

Com os resultados adquiridos é possível concluir que o sensor óptico não é eficiente para todos os casos mencionados, mas é possível a sua utilização na maioria dos casos explanados.

Como explanado no decorrer da dissertação, caso a maior vazão fosse ignorada, possivelmente os resultados seriam melhores, visto que, grande parte dos problemas estão relacionados às limitações do sensor óptico para cores com baixa reflexão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSYSTEM. (6 de Fevereiro de 2019). *Sensor de Sementes*. Fonte: Agrosystem: Tecnologia ao Seu Alcance: <http://www.agrosystem.com.br/produtos/agricultura/agrosystem/sensor-de-sementes/>

BALASTREIRE, L. A. (1987). *Máquinas Agrícolas*. São Paulo: Manole.

BALASTREIRE, L. A., & COELHO, J. D. (2000). *Aplicação Mecanizada de Fertilizantes e Corretivos*. São Paulo: ANDA - Associação Nacional Para Difusão de Adubos.

BERNARDI, A. C., BETTIOL, G. M., FERREIRA, R. P., SANTOS, K. E., RABELLO, L. M., & INAMASU, R. Y. (12 de Dezembro de 2014). Spacial variability of soil properties and yield of an alfafa pasture under grazing in Brazil. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE*. Sacramento: New York: ISPA.

BERNARDI, A. C., BETTIOL, G. M., GREGO, C. R., ANDRADE, R. G., RABELLO, L. M., & INAMASU, R. Y. (2015). Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilizade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 205-221.

BRASIL. (1980). Lei nº 6894, de dezembro de 1980. *Poder Executivo, Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, pp. Seção 1, 25289.

BRASIL. (2009). *Agricultura de precisão*. Brasília: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo.

BRASIL. (2013). *Agricultura de precisão*. Brasília: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo.

CAMARGO, M. S. (2012). A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. *Pesquisa & Tecnologia*, 9(2).

CAPELLI, A. (2012). *Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos*. São Paulo: Editora Érica Ltda.

CAPPELLI, N. L., UMEZU, C. K., & MARTINS, M. M. (2000). Avaliação do desempenho de um dosador helicoidal para aplicação de fertilizantes sólidos. *Engenharia Agrícola*, 130-138.

COSTA, F. T., SCHIEBELBEIN, L. M., SANTOS, M. M., & STEVAN JUNIOR, S. L. (21 de Outubro de 2015). Uma visão geral da aplicação de sensores em máquinas agrícolas. *X Congresso Brasileiro de Agroinfomática*.

- CUNHA, A. (2007). Sistemas Embarcados. *Revista Saber Eletrônica*, 414.
- DA COSTA, C. (2017). *Projetando controladores digitais com FPGA*. São Paulo: Novatec.
- DIAS, V. P., & FERNANDES, E. (Setembro de 2006). Fertilizantes: uma visão global sintética. *BNDES Setorial*(24), 97-138.
- FERREIRA, M. F., DIAS, V. O., OLIVEIRA, A., ALONÇO, A. S., & BAUMHARDT, U. B. (2010). Uniformidade da vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal. *REVENG*, 297-304.
- FRANCHI, C. M. (2011). *Controle de Processos Industriais*. São Paulo: Editora Érica Ltda.
- GARCIA, A. P. (2007). *Desenvolvimento de um sistema de controle eletromecânico para dosador de fertilizantes*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- GUTIERREZ, R. M., & ALEXANDRE, P. V. (2004). *Complexo eletrônico: introdução ao software*. Rio de Janeiro: BNDES Setorial.
- HAAG, H. P., MALAVOLTA, E., GARGANTINI, H., & BLANCO, H. G. (1967). Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. . *Boletim Científico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo*, 381-391.
- HONDA, B., & JORGE, L. A. (2013). Computação aplicada à agricultura de precisão. *Revista Científica Eletrônica UNISEB*, 111-132.
- ISHERWOOD, K. F. (2000). *Mineral fertilizer use and the environment*. Paris: International Fertilizer Industry Association.
- JESUS, I. R., & HILL, M. P. (13 de Outubro de 2015). A importância dos fertilizantes na análise do ciclo de vida dos produtos - um olhar sobre as publicações científicas. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E., & NASCIMENTO, M. (2008). Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. Em F. d. LAPIDO-LOUREIRO, R. MELAMED, & J. FIGUEIREDO NETO, *Fertilizantes: agroindústria & sustentabilidade* (pp. 81-132). Rio de Janeiro: CETEM.
- LOPES, A. S., & GUILHERME, L. R. (2000). *Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas*. São Paulo: Associação Nacional Para Difusão de Adubos.

LOPES, A. S., & GUILHERME, L. R. (2008). Fertilidade do solo e produtividade agrícola. Em F. LAPIDO-LOUREIRO, R. MELAMED, & J. FIGUEIREDO NETO, *Fertilizantes: agroindústria & sustentabilidade* (pp. 33-80). Rio de Janeiro: CETEM.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., & OLIVEIRA, A. S. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. (2ª ed.). Piracicaba: Potafós.

PORTELLA, J. A. (1997). *Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes em máquinas agrícolas*. Passo Fundo: Embrapa-CNTF.

ROSÁRIO, J. M. (2009). *Automação Industrial*. São Paulo: Baraúna.

RUIZ, A. S., GARCIA, F. A., & NOGUERA, J. C. (2010). *Guía Prática de Sensores*. Madrid: Creaciones Copyright.

SILVA, M. R. (2003). *Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema de plantio direto conforme o índice de adequação*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

SOUSA, R. V., LOPES, W. C., & INAMASU, R. Y. (2014). Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação. Em S. M. MASSHURÁ, M. A. LEITE, A. LUCHIARI JUNIOR, & L. A. ROMANI, *Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura*. (pp. 215-232). Brasília: EMBRAPA.

THOMAZINI, D., & ALBUQUERQUE, P. U. (2012). *Sensores industriais: fundamentos e aplicações*. São Paulo: ERICA.

TSCHIEDEL, M., & FERREIRA, M. F. (2002). Introdução á agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, 159-163.