

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

RICARDO DALACORT

DESENVOLVIMENTO DE SENSOR CAPACITIVO HELICOIDAL MÓVEL PARA
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES MINERAIS SÓLIDOS

PONTA GROSSA

2018

RICARDO DALACORT

DESENVOLVIMENTO DE SENSOR CAPACITIVO HELICOIDAL MÓVEL PARA
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES MINERAIS SÓLIDOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, como Área de Concentração: Computação para Tecnologia em Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Luiz Stevan Jr.

PONTA GROSSA

2018

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

D136 Dalacort, Ricardo
Desenvolvimento de sensor capacitivo helicoidal móvel para análise da distribuição de fertilizantes minerais sólidos/ Ricardo Dalacort. Ponta Grossa, 2018.
95f.

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Luiz Stevan Jr..

1.Sensor capacitivo. 2.Permissividade dielétrica. 3.Distribuição de fertilizante. 4.Mecanismo dosador. I.Stevan Jr., Sergio Luiz. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Computação Aplicada. III. T.

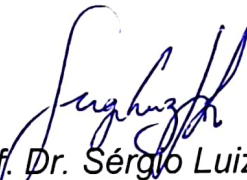
CDD: 006.7

TERMO DE APROVAÇÃO

Ricardo Dalacort

“DESENVOLVIMENTO DE SENSOR CAPACITIVO HELICOIDAL MÓVEL PARA ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES MINERAIS SÓLIDOS”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Sérgio Luiz Stevan Junior
UTFPR



Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme
UTFPR



Prof. Dr. Arion de Campos Junior
UEPG

Ponta Grossa, 12 de junho de 2018.

RESUMO

A agricultura moderna utiliza-se de técnicas e tecnologias que possibilitam o aumento da produtividade e possível redução dos custos ao produtor. Otimizar o uso de insumos aplicando dosagens exatas e precisas, condizentes com as reais necessidades do solo, além de proporcionar os nutrientes necessários para o correto desenvolvimento das culturas, possibilita reduzir os custos e impactos ambientais causados pelo uso incorreto de produtos como fertilizantes e agrotóxicos. A eficiência na produtividade de um sistema depende principalmente das tecnologias empregada a ela, e que, por sua vez, seu bom aproveitamento depende da quantidade de informação disponível para melhor aplicabilidade de seus recursos. O principal objetivo desse trabalho foi desenvolver empiricamente um sensor capacitivo para identificar ausência, presença e variações na distribuição de fertilizante minerais sólidos. O sensor desenvolvido identificou em todos os testes realizados, a ausência ou a presença de fertilizantes independente da formulação testada, apresentando coeficiente de variação inferior a 10% representando homogeneidade e baixa dispersão dos dados em relação à média aritmética. Os maiores erros expressos pelo desvio padrão – DVP ocorreram em estado dinâmico com a formulação 06-21-12 apresentando valores de 6,19 pF e 7,14 pF para o mecanismo dosador por gravidade e por transbordo respectivamente. Na identificação de variações da distribuição do fertilizante, o sensor identificou a redução do fluxo do fertilizante em todos os experimentos quando a obstrução foi imposta. Para a formulação 00-00-60 a redução da capacitância foi de aproximadamente 55% para o mecanismo dosador por gravidade e de 58% para o mecanismo dosador por transbordo. As demais formulações apresentaram variações próximas a estas na imposição da obstrução. Na análise relacionada a identificação da formulação de fertilizante, apenas as formulações 02-28-20 e 06-21-12 nos experimentos realizados com o mecanismo dosador por transbordo não se diferem estatisticamente entre si, sendo que todas as demais formulações apresentaram diferença estatisticamente significativa pela análise ANOVA e pelo Teste de Tukey a 5% de significância. A umidade teve influência na permissividade dielétrica das formulações de fertilizantes testadas 02-20-10 e 02-28-20, gerando alterações na resposta do sensor, sendo mais expressiva em níveis de umidade de 6,33% e 7,56% respectivamente, apresentando aumento da capacitância em 493,60% e 385,51% em relação as umidades iniciais de 1,66% e 2%.

Palavras chaves: Sensor Capacitivo, Permissividade Dielétrica, Distribuição de Fertilizante, Mecanismo Dosador.

ABSTRACT

Modern agriculture uses techniques and technologies that allow the increase of productivity and possible reduction of costs to the producer. Optimizing the use of inputs by applying precise and precise dosages, in keeping with the real needs of the soil, besides providing the necessary nutrients for the correct development of the crops, reduces the costs and environmental impacts caused by the incorrect use of products such as fertilizers and agrochemicals. The productivity efficiency of a system depends mainly on the technology that is used to it, and that, in turn, its good use depends on the amount of information available to better apply its resources. The main objective of this work was to develop empirically a capacitive sensor to identify absence, presence and variations in the distribution of solid mineral fertilizer. The developed sensor identified in all tests the absence or presence of fertilizers independent of the tested formulation, presenting a coefficient of variation of less than 10% representing homogeneity and low dispersion of the data in relation to the arithmetic mean. The highest errors expressed by the standard deviation - DVP occurred in dynamic state with the formulation 06-21-12 presenting values of 6.19 pF and 7.14 pF for the gravity and overflow mechanism respectively. In the identification of variations of the fertilizer distribution, the sensor identified the reduction of fertilizer flow in all experiments when the obstruction was imposed. For the formulation 00-00-60 the capacitance reduction was approximately 55% for the gravity loading mechanism and 58% for the transshipment dosing mechanism. The other formulations presented variations close to these. In the analysis related to the identification of the fertilizer formulation, only formulations 02-28-20 and 06-21-12 in the experiments performed with the transshipment dosing mechanism do not differ statistically from each other, and all other formulations presented a statistically significant difference by ANOVA and Tukey's test at 5% significance. Moisture had an influence on the dielectric permittivity of the tested fertilizer formulations 02-20-10 and 02-28-20, generating alterations in the sensor response, being more expressive in humidity levels of 6.33% and 7.56%, respectively, presenting capacitance increase in 493.60% and 385.51% in relation to the initial humidities of 1.66% and 2%.

Keywords: Capacitive Sensor, Dielectric Permissivity, Fertilizer Distribution, Dosing Mechanism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Problemas ocasionado pela irregularidade na distribuição de fertilizantes. a) Subdosagem de fertilizante. b) Superdosagem de fertilizante.....	15
Figura 2 - Ciclo da Agricultura de Precisão	18
Figura 3 – Equipamentos de distribuição de fertilizantes. a) Equipamento a lanço. b) Semeadora adubadora de linha.....	22
Figura 4 - Percentual de mecanismos dosadores de fertilizantes presentes nas semeadoras adubadoras	24
Figura 5 - Dosador de fertilizante helicoidal	25
Figura 6 - Rosca helicoidal de diferentes passos	25
Figura 7 - Mecanismo dosador helicoidal. a) por gravidade. b) por transbordo	26
Figura 8 - Dosador de fertilizante rotor dentado	26
Figura 9 - Dosador de fertilizantes rotor acanalado.	27
Figura 10 - Dosador de fertilizante rotor vertical impulsor.....	27
Figura 11 - Dosador de fertilizante disco horizontal rotativo.....	28
Figura 12 - Dosador de fertilizante de correia.....	28
Figura 13 – Capacitor de placas paralelas. a) Carregamento do capacitor de placas paralelas. b) Distância entre as placas do capacitor	33
Figura 14 - Capacitor placas paralelas com dielétrico.....	33
Figura 15 – Métodos de alteração da capacitância. a) Alteração da distância. b) Alteração da área comum entre as placas. c) Inclusão do dielétrico entre as placas	35
Figura 16 - Efeito de campo de borda	35
Figura 17 - Efeito franja em eletrodos não uniformes.....	35
Figura 18 - Circuito impedância capacitiva.....	36
Figura 19 - Circuito ponte capacitiva	37
Figura 20 - Circuito oscilador astável com circuito integrado 555	37
Figura 21 - Circuito carga e descarga.....	38
Figura 22 - Diagrama do sensor. 1- Tubo de fertilizante, 2 – Proteção do tubo, 3 – Eletrodo capacitivo 1, 4 – Base fixada, 5 – Eletrodo capacitivo 2, 6 – Eletrodo capacitivo 3, 7 – Circuito de condicionamento.....	41
Figura 23 - Ilustração dos fertilizantes utilizados.....	43
Figura 24 - Diagrama de blocos das fases de desenvolvimento do protótipo	44

Figura 25 - Diagrama de blocos das principais análises realizadas.....	45
Figura 26 - Diagrama de blocos dos principais componentes e processos que integram o protótipo	50
Figura 27 - Ilustração do posicionamento dos eletrodos, dielétrico e dimensões	51
Figura 28 - Dielétricos presentes no sensor.....	52
Figura 29 - Ilustração do sistema de alimentação do eletrodo móvel	53
Figura 30 - Planificação do sensor	53
Figura 31 - Ilustração das diferentes distâncias do campo elétrico e suas respectivas capacitâncias. a) Vista frontal do eletrodo helicoidal planificado. b) Vista lateral do eletrodo helicoidal planificado	54
Figura 32 – Circuito integrado LMC 555. a) Configuração astável. b) Sinal de saída	56
Figura 33 - Fluxograma básico do firmware	58
Figura 34 - Acoplamento do motor com o mecanismo dosador de fertilizantes.....	59
Figura 35 - Sensor de rotação do eixo	59
Figura 36 - Circuito de controle de velocidade	60
Figura 37 – Esquemático das ligações dos componentes do sistema desenvolvido.....	61
Figura 38 - Gráficos da resposta do sensor para a presença e ausência do fertilizante para o mecanismo dosador por gravidade	69
Figura 39 - Gráficos da resposta do sensor para o mecanismo dosador por gravidade simulando o ciclo completo de distribuição de fertilizantes	71
Figura 40 - Gráficos resposta do sensor para a presença e ausência do fertilizante para o mecanismo dosador por transbordo.....	74
Figura 41 - Gráficos do resposta do sensor para o mecanismo dosador por transbordo simulando o ciclo completo de distribuição de fertilizantes	76
Figura 42 – Gráficos da resposta do sensor na imposição de obstrução para o mecanismo dosador por gravidade	78
Figura 43 – Gráficos da resposta do sensor na imposição de uma obstrução para o mecanismo dosador por transbordo	79
Figura 44 - Resposta do sensor para diferentes teores de umidade para a formulação 02-20-10	80
Figura 45 - Resposta do sensor para diferentes teores de umidade para a formulação 02-28-20	80
Figura 46 - Média móvel de vinte amostras com o mecanismo dosador por gravidade	81

Figura 47 - Média móvel de vinte amostras com o mecanismo dosador por transbordo	82
Figura 48 - Comparativo da resposta do sensor para o mecanismo dosador por gravidade e por transbordo	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais e suas respectivas constantes dielétricas	34
Tabela 2- Resultados da análise granulométrica	62
Tabela 3 - Resultados da análise SGN e IU	63
Tabela 4 - Resultados da umidade dos fertilizantes	64
Tabela 5 - Resultado da análise de densidade real e aparente	64
Tabela 6 - Estatística descritiva básica da resposta do sensor com o mecanismo dosador por gravidade	65
Tabela 7 – Diferença de capacitância na presença e na ausência do dielétrico para o mecanismo dosador por gravidade	67
Tabela 8 - Estatística descritiva básica da resposta do sensor com o mecanismo dosador por transbordo.	71
Tabela 9 - Diferença de capacitância na ausência e na presença do dielétrico para o mecanismo dosador por transbordo	73
Tabela 10 - Média móvel de cada formulação de fertilizantes, desvio padrão e suas respectivas umidades.....	83
Tabela 11 - Valores da constante dielétrica de cada formulação de fertilizante	85

SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
CC	Corrente Contínua
CCD	Dispositivo de Carga
CV	Coefficiente de Variação
DVP	Desvio Padrão
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Avançada
IU	Índice de Uniformidade
NR-31	Norma Regulamentadora - 31
PCI	Placa de Circuito Impresso
PDA	Matriz de Fotodiodos
PDMS	Polidimetilsiloxano
PWM	Pulse-Width Modulation
RPM	Rotação Por Minuto
SAM	Sulfato de Amônio
SGN	Size Guide Number
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO	17
2.2	FERTILIZANTES	19
2.2.1	Características de natureza física.....	19
2.2.2	Características de natureza química	20
2.2.3	Características de natureza físico químicas	20
2.3	MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES	21
2.3.1	Aplicação de fertilizante de forma variável.....	22
2.4	MECANISMOS DOSADORES DE FERTILIZANTES	23
2.4.1	Dosador de fertilizantes helicoidal	24
2.4.2	Rotor dentado	26
2.4.3	Rotor acanalado	27
2.4.4	Rotor vertical impulsor.....	27
2.4.5	Disco horizontal rotativo	28
2.4.6	Sistemas de correias ou correntes.....	28
2.5	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS	29
2.5.1	Distribuição de fertilizantes minerais sólidos.....	29
2.6	PRINCIPIOS BÁSICOS SOBRE CAPACITORES	32
2.6.1	Material dielétrico e constante dielétrica.....	33
2.7	SENSORES CAPACITIVOS.....	34
2.7.1	Efeito de campo de borda ou efeito “franja”	35
2.7.2	Métodos de mensuramento da capacitância	36
2.7.2.1	Impedância capacitiva	36
2.7.2.2	Ponte Capacitiva.....	36
2.7.2.3	Osciladores	37
2.7.2.4	Método de carga e descarga	37
2.8	APLICAÇÕES DE SENSORES CAPACITIVOS NA AGRICULTURA	38

3	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1	MATERIAL	42
3.1.1	Fertilizantes utilizados	43
3.2	MÉTODOS	43
3.2.1	Análise experimental	45
3.2.2	Influência da umidade na permissividade dielétrica dos fertilizantes	47
3.2.3	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FERTILIZANTE	48
3.2.3.1	Análise granulométrica	48
3.2.3.2	Teor de umidade	48
3.2.3.3	Densidade do fertilizante	48
3.2.3.4	Densidade aparente do fertilizante	49
4	DESENVOLVIMENTO	50
4.1	DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR CAPACITIVO HELICOIDAL MÓVEL	51
4.1.1	Geometria e dimensões do sensor	51
4.1.2	Isolamento do helicóide	52
4.1.3	Energização do helicóide móvel	52
4.1.4	Aproximação analítica da capacitância teórica do sensor	53
4.1.5	Condicionamento de sinal	55
4.1.6	Captura e processamento de dados	57
4.2	ADAPTAÇÕES PARA ANÁLISE EM ESTADO DINÂMICO	58
4.2.1	Acoplamento do motor no eixo do mecanismo dosador	58
4.2.2	Sensor de rotação do eixo	59
4.2.3	Circuito de controle da velocidade de rotação	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DE FERTILIZANTES	62
5.1.1	Granulometria	62
5.1.2	Teor de umidade	63
5.1.3	Densidade aparente e densidade real	64
5.2	IDENTIFICAÇÃO DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DO FERTILIZANTE	64
5.2.1	Mecanismo dosador por gravidade	65
5.2.2	Mecanismo dosador por transbordo	71
5.3	VARIAÇÕES NA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES	77

5.4	INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA PERMISSIVIDADE DIELÉTRICA DO FERTILIZANTE.....	80
5.5	IDENTIFICAÇÃO DA FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE.....	81
5.5.1	Constante dielétrica das formulações de fertilizantes	84
6	CONCLUSÕES.....	86
7	TRABALHOS FUTUROS.....	87
8	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

O uso do conhecimento científico e tecnológico em prol do aumento de produtividade e possível diminuição de custos é uma importante característica da agricultura moderna, podendo gerar maior retorno econômico ao produtor. A dependência do agricultor em relação ao mercado, e as constantes incertezas e mudanças repentinas no cenário econômico, apontam aos produtores a necessidade de ampliar os conhecimentos de seu negócio, especializando-se na gestão e controle das atividades (DE ANDRADE et al. 2011).

O aumento na eficiência da produtividade de um sistema depende principalmente da tecnologia que é empregada a ela, e que, por sua vez, seu bom aproveitamento depende da quantidade de informação disponível para melhor aplicabilidade de seus recursos (MARTINS, 1999). Nesta perspectiva surge a Agricultura de Precisão – AP, que tem como um de seus objetivos a gestão local e específica do solo, visando resolver problemas de desuniformidade, utilizando-se de técnicas e tecnologias para auxiliar no processo de gestão e correção da lavoura.

A agricultura de precisão possibilita distribuir insumos de maneira mais racional, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais ocasionados pelo uso excessivo (YULE et al. 1996). Sua aplicação em local específico, contribui para obter alta produtividade e redução da quantidade do produto aplicado (AUERNHAMMER, 2001).

Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Avançada – IPEA, apontam que a utilização de fertilizantes agrícolas aumentou 113% no período 2000-2014, o que corresponde a uma taxa anual de crescimento de 4,8%. Os principais fertilizantes utilizados na agricultura são o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Estes são geralmente comercializados na forma de grânulos, podendo conter apenas um ou os três nutrientes no mesmo grânulo.

A fertilização do solo é essencial para a manutenção dos nutrientes presentes no solo que são necessários para o correto desenvolvimento de uma cultura (REYNALDO et al. 2016). Porém o processo de deposição desses fertilizantes muitas vezes é realizado de maneira inadequada, ocasionando problemas ao meio ambiente quando depositados de maneira excessiva e também, reduzindo a lucratividade do produtor agrícola (SERRANO et al. 2014, FILHO et al. 2012).

A uniformidade na aplicação de fertilizantes granulados, torna-se cada vez mais importante para alcançar máxima produtividade do cultivo com baixo custo (GARCIA, 2007). Dados apresentados por Menegatti e Barros (2007), apontam que os fertilizantes são

responsáveis por grande parte do custo da produção de soja, tanto convencional como transgênica. De acordo com Richetti; Melo Filho e Parizoto (1996), o custo de produção está diretamente ligado a correta distribuição de insumos e consiste na soma de todas as despesas diretas e indiretas, associadas a produção de um determinado produto.

Se por um lado o panorama ideal seria a análise prévia de toda a extensão do solo e a distribuição de fertilizantes variável consoante a esta análise, o que aumenta consideravelmente a complexidade da correção do solo; por outro lado, o simples fato de que se pode monitorar a distribuição para que em uma determinada área ela aconteça de forma homogênea e ininterrupta já propicia ganho de produção para o produtor. As constantes falhas de distribuição de fertilizantes geradas por interrupções ocasionadas pelo empedramento ou qualquer outro fator que altere o fluxo normal, além de proporcionar uma fertilização heterogênea reduzem a emergência e a germinação das plantas (ALCARDE, GUIDOLIN e LOPES, 1998; MASSEY FERGUSON, 2016).

Uma distribuição homogênea de fertilizantes depende da qualidade de aplicação dos mecanismos dosadores. Baio; Molin e Leal (2012), afirma que esses mecanismos dosadores são imprecisos e que não fornecem uniformidade na distribuição, ocasionando prejuízos de produtividade. De acordo com Milan e Gadanha (1996), os principais fatores que proporcionam o mau funcionamento dos dosadores de fertilizantes são: inclinação de trabalho ocasionada pelo relevo, velocidade de plantio e o tipo de fertilizante utilizado.

Porém, a uniformidade na distribuição não depende somente das características da máquina e das regulagens empregadas, mas depende também das características físicas do fertilizante como, tamanho dos grânulos, higroscopicidade, fluidez, consistência entre outras (COLET et al. 2005). A aplicação de fertilizante é influenciada pela diferença das propriedades físicas do fertilizante, sendo necessário a regulagem do sistema dosador conforme a formulação usada (SCHNEIDER *et al.* 2005).

Siqueira e Casão Junior (2002), observaram variação nas dosagens de fertilizantes nas diferentes linhas de uma semeadora-adubadora, onde a dose variou de 80 até 210 kg/ha tendo uma variação de até 160%. Considerando que a semeadora-adubadora é constituída de várias linhas e em cada linha está presente um dosador de fertilizantes, a irregularidade de distribuição é bastante significativa.

De acordo com Reynaldo (2013), do ponto de vista técnico, a irregularidade na distribuição de fertilizantes pode causar os seguintes problemas: subdosagens (Figura 1a), resultando em deficiência dos elementos químicos necessários para o desenvolvimento da

planta; e superdosagens, resultando em problemas associados a fitotoxicidade, ambas acarretando em significativa redução de produtividade e conseqüentemente menor retorno econômico ao produtor.

Outro problema ocasionado pela superdosagem de fertilizantes é o acamamento das plantas (Figura 1b), que ocorre devido a altas taxas de adubação nitrogenadas aliadas ao alto potencial de crescimento da cultura. Trabalhos como o de Ferreira et al. (2010), Reynaldo e Gamero (2015), demonstram variações de aplicação de fertilizantes quando o dosador foi submetido a inclinações longitudinal, simulando o plantio no sentido de declive e no sentido de aclave, sendo que no sentido de aclave o dosador aplicou superdosagens de fertilizantes.

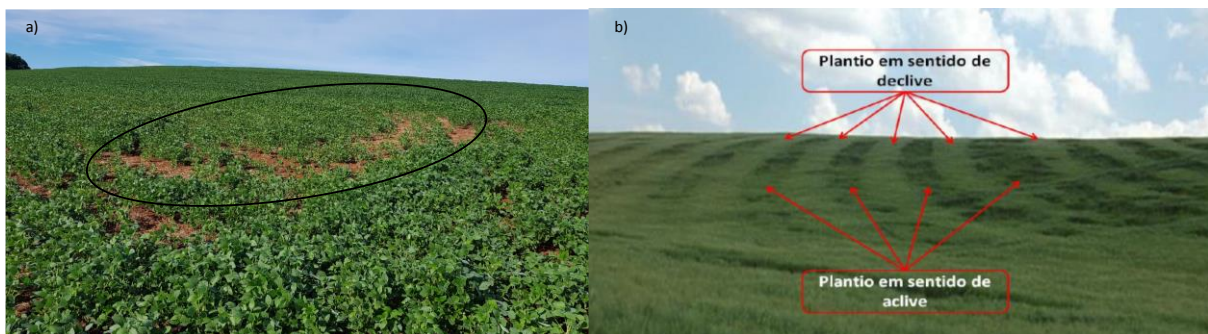


Figura 1 – Problemas ocasionado pela irregularidade na distribuição de fertilizantes. a) Subdosagem de fertilizante. b) Superdosagem de fertilizante

Fonte: 1a) O autor; 1b) Reynaldo (2013).

Desta forma, a definição da composição do fertilizante a ser utilizado, bem como, estimativas precisas de dosagem e instante de aplicação, tem pouco sentido se a operação de distribuição do produto na lavoura não for uniforme (MOLIN; MAZZOTTI, 2000).

Tendo em vista que a distribuição de fertilizante é fator determinante para obter altos índices de produtividade e que vários autores identificaram irregularidade de distribuição na utilização desses mecanismos, faz-se necessário desenvolver novas tecnologias visando monitorar a variação na distribuição desses elementos por mecanismos dosadores. Assim, este trabalho propõe o estudo e desenvolvimento de um sensor capacitivo para leituras dinâmicas das propriedades dielétricas do fertilizante, que proporcionem medidas através das quais seja possível identificar presença, ausência ou variações significativas da dosagem de fertilizante granulado durante sua aplicação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sensor baseado na capacitância que proporcionem medidas através das quais seja possível identificar a presença, ausência ou variações na distribuição de fertilizantes minerais sólidos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desenvolver fisicamente o sensor capacitivo baseado no mecanismo dosador helicoidal;
- Desenvolver um circuito de alimentação do sensor capacitivo, bem como extração e condicionamento de sinal elétrico em função da alteração da capacitância do sensor;
- Desenvolver um firmware para captura e processamento dos dados;
- Desenvolver um dispositivo óptico para contabilizar as rotações do eixo do mecanismo dosador;
- Desenvolver um circuito para controle da rotação do motor;
- Propor uma aproximação analítica simplificada da capacitância teórica do sensor desenvolvido;
- Analisar a influência da umidade na permissividade dielétrica do fertilizante; e
- Analisar a possibilidade de identificação da formulação de fertilizante que está sendo distribuída.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção são abordados os principais conceitos, equipamentos, técnicas e tecnologias relacionados a distribuição de fertilizantes minerais sólidos, bem como, os princípios básicos sobre capacitores e sensores capacitivos.

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A origem do termo “Agricultura de Precisão”, está fundamentado no fato de que as lavouras não são uniformes, sendo necessárias, estratégias para gerenciar problemas com variados níveis de complexidade, ocasionados pela desuniformidade da lavoura (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

O primeiro relato da prática agrícola denominada agricultura de precisão é conhecido desde o início do século passado, quando Linsley e Bauer (1929), apresentaram o primeiro relato sobre agricultura de precisão na circular n° 346 da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois, nos Estados Unidos da América – EUA. Nessa época, os autores constataram a existência de grandes variações de calagem em determinada área e que a aplicação de calcário deveria respeitar essa variabilidade.

A agricultura de precisão utiliza-se de técnicas e tecnologias para a administração da propriedade agrícola, explorando a coleta e o manuseio de informações com objetivo de gerir o campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada porção da propriedade possui características diferentes. De acordo com Fraisse e Faoro (1998), a agricultura de precisão é uma tecnologia de informação que possibilita o gerenciamento da atividade agrícola, respeitando a variabilidade espacial e temporal do solo e da cultura, possibilitando com isso, otimizar a distribuição de insumos agrícolas. Assim, podemos dizer que o principal conceito da agricultura de precisão é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado e em quantidades precisas (MANZATTO, BHERING; SIMÕES, 1999).

Para Umezu (2003), o termo “Agricultura de Precisão” é utilizado para descrever o uso de tecnologias avançadas na agricultura, visando reduzir custos de produção e contribuir para a preservação do meio ambiente. Bramley (2009), define a agricultura de precisão como sendo um conjunto de tecnologias que promovem uma melhora na gestão dos sistemas de produção, sabendo que o potencial de resposta das lavouras pode variar consideravelmente mesmo em pequenas distâncias.

As técnicas que compõem o ciclo da AP, ilustradas na Figura 2, propiciam um gerenciamento detalhado da lavoura, possibilitando aumentar a produtividade e reduzir custos. Pode-se destacar algumas delas, como: análise de solo, aplicação de fertilizantes e corretivos a taxas variáveis, plantio a taxa variável respeitando o potencial produtivo de cada área, acompanhamento da lavoura através da geração de mapas de pragas e doenças, aplicação localizada de defensivos agrícolas e a colheita com máquinas equipadas com tecnologias que possibilitem gerar mapas de produtividade.

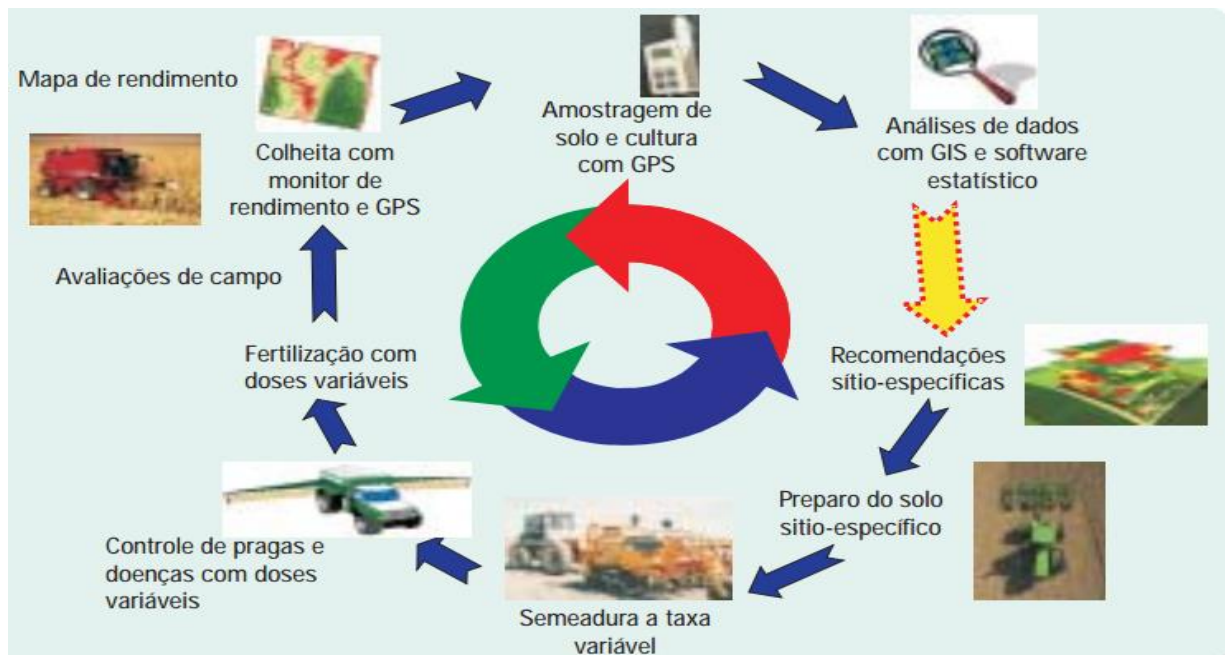


Figura 2 - Ciclo da Agricultura de Precisão
Fonte: Coelho (2008).

As principais tecnologias que auxiliam na aplicabilidade dessas técnicas são: Sistema de Posicionamento Global – GPS, Sistema de Informações Geográficas – SIG, tecnologias de sensoriamento para a coleta de dados e sistemas automatizados para a aplicação de insumos a taxas variáveis (SWINTON e LOWENBERG-DEBOER, 2001). O desenvolvimento de sensores foi a tecnologia que obteve menor crescimento dentre as tecnologias que impulsionaram o desenvolvimento da agricultura de precisão (SUDDUTH; BIRRELL; HUMMEL, 1997).

É importante destacar duas das principais motivações para a adesão das práticas de agricultura de precisão. A primeira diz respeito a redução dos impactos ambientais, onde deseja-se reduzir a quantidade de fertilizantes e agroquímicos aplicado. A segunda refere-se ao aumento da lucratividade da produção agrícola, diminuindo a quantidade de insumos aplicados, principalmente fertilizantes e agroquímicos (MARTINS, 1999).

A Agricultura de Precisão atua tanto na otimização da distribuição de insumos agrícolas como sementes, fertilizantes, corretivos e agrotóxicos, como também no manejo dos cultivares. Em especial a distribuição de fertilizantes ainda possui pouca inserção de tecnologia, o que seria importante para detectar irregularidades na distribuição e contribuir para a redução dos impactos ambientais ocasionados pelo uso excessivo desses produtos.

2.2 FERTILIZANTES

Fertilizante é um produto mineral ou orgânico, sintético ou natural, utilizado para suplementar a disponibilidade natural do solo, compensando as perdas de nutrientes decorrentes da remoção das culturas preexistentes e melhorando as condições para o desenvolvimento das culturas posteriores (ISHERWOOD, 2000).

Em específico, os fertilizantes minerais são utilizados em grande escala na agricultura, podendo ser encontrado na forma: sólida, líquida ou gasosa, sendo a utilização dos fertilizantes minerais sólidos predominante no Brasil (ALCARDE et al. 1992).

Os fertilizantes minerais são constituídos por compostos inorgânicos de origem natural ou produzidos industrialmente, e podem ser classificados quanto ao critério químico (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998):

- Fertilizantes simples: caracterizam-se por apresentar apenas um composto químico em seu grânulo, contendo um ou mais nutrientes.
- Fertilizantes mistos: resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos.
- Fertilizantes complexos: formado por dois ou mais compostos químicos, podendo conter dois ou mais nutrientes no mesmo grânulo.

A eficiência dos fertilizantes tem relação direta com as características de natureza física, química e físico química. Segundo Alcarde; Guidolin e Lopes, (1998) as principais características são:

2.2.1 Características de natureza física

- Granulometria: determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas sendo expressa quantitativamente por meio de análise granulométrica.

- Consistência: determinada pelo grau de dureza dos grânulos. A fragilidade dos grânulos provoca a quebra ou esfrelamento do fertilizante, sendo no transporte, manuseio ou armazenamento provocando a desuniformidade das partículas.
- Fluidez: refere-se à capacidade de livre escoamento do fertilizante por determinados espaços e está diretamente ligada a eficiência da distribuição do produto por equipamentos mecânicos.
- Densidade: determinada pelo peso por unidade de volume do produto.

Deve-se destacar que a desuniformidade das partículas gera a segregação, ou seja, a separação e acomodação seletiva das partículas por ordem de tamanho, devido a movimentação do fertilizante, comprometendo a homogeneidade do produto.

2.2.2 Características de natureza química

- Número de nutrientes: refere-se à quantidade de diferentes nutrientes presentes no fertilizante, podendo apresentar macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes.
- Forma química dos nutrientes: refere-se a diferentes formas ou compostos químicos que os nutrientes são incorporados no fertilizante.
- Concentração dos nutrientes: refere-se a altas ou baixas concentrações que os fertilizantes podem possuir, sendo que altas concentrações resultam em menor custo de armazenamento, transporte e aplicação.
- Compostos indesejáveis: refere-se a compostos nocivos as plantas que estão presentes nos fertilizantes, como o biureto formado na produção da ureia, tiocianato, presente no sulfato de amônio entre outros.

2.2.3 Características de natureza físico químicas

- Solubilidade: refere-se à capacidade do fertilizante de dissolver com água, sendo melhor absorvida pelo solo e aproveitada pela planta.
- Higroscopicidade: refere-se à capacidade do fertilizante absorver a umidade do ar, sendo que cada fertilizante possui um valor máximo de umidade que pode ser exposto sem absorver água e reduzir a qualidade do fertilizante.
- Empedramento: caracteriza-se pela cimentação das partículas do fertilizante formando uma massa com dimensões muito superior as partículas originais.

- Índice salino: refere-se ao aumento da pressão osmótica da solução do solo, provocada pela salinidade do adubo, sendo que as plantas mais novas sentem mais os efeitos da salinidade.

2.3 MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES

As necessidades nutricionais das plantas são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo de desenvolvimento (COELHO et al. 2006). Desta forma, o processo de fertilização do solo é de grande importância para o desenvolvimento da cultura, permitindo a reposição dos nutrientes extraídos pela planta ou a adição dos nutrientes faltantes no solo, proporcionando uma maior sustentabilidade do sistema de produção agrícola (SERRANO et al. 2014, REYNALDO et al. 2016).

De maneira geral, a aplicação de fertilizantes minerais sólidos é realizada por meio da distribuição sobre o solo ou cultura, ou pode ocorrer durante o processo de semeadura, onde o fertilizante é distribuído abaixo do solo, em sulcos abertos e fechados por uma máquina, denominada semeadora adubadora (SRIVASTAVA et al., 1993).

Para realizar a distribuição sobre o solo utiliza-se normalmente máquinas a lança (Figura 3a), que são máquinas que possibilitam a distribuição em uma maior área com menor tempo, são mais baratas e de maior facilidade de limpeza, porém não possui grande precisão implicando em maior quantidade do produto lançado ao solo (MACHADO et al. 1996). Para a distribuição de adubo, são conhecidas como adubadoras, empregadas para adubação complementar da cultura.

Os equipamentos que distribuem sementes ou fertilizantes abaixo do solo são conhecidas com semeadoras adubadoras (Figura 3b), são máquinas que podem aplicar simultaneamente sementes e fertilizantes no solo. A utilização dessas máquinas foi impulsionada pelo sistema de plantio direto na década de 90. Essas máquinas além de reduzir custos operacionais na implantação da cultura, também atendem de melhor maneira os aspectos agrônômicos do posicionamento de sementes e fertilizantes no solo (BALASTREIRE, 1987).

Porém é importante destacar que a aplicação de fertilizantes realizadas por essas máquinas apresentam irregularidades na distribuição, que pode ser ocasionada por fatores relacionados as características das máquinas ou a qualidade dos fertilizantes. Pode-se destacar o empedramento do fertilizante, entupimento do tubo ejetor, a não fluidez do fertilizante, inclinação de trabalho, como alguns dos principais causadores das irregularidades na distribuição. De acordo com Casão Junior e Siqueira (2006), a higroscopicidade que se refere

a capacidade do fertilizante absorver água, faz como que os fertilizantes “empelotem” com o tempo, ocasionando obstruções da passagem do fertilizante, ou até mesmo a danificação do mecanismo dosador.

Em especial a regulação da vazão do fertilizante em semeadoras adubadoras é realizada por meio de tabelas pré-estabelecidas pelo fabricante, onde a alteração das engrenagens altera a dosagem de fertilizante. Porém, em função das características dos fertilizantes (higroscopicidade, granulometria, densidade, rigidez, entre outras) e de fatores ambientais, essas tabelas devem ser utilizadas apenas como parâmetro, devendo ser realizada uma regulação apropriada para cada formulação de fertilizante (SIQUEIRA 2008).

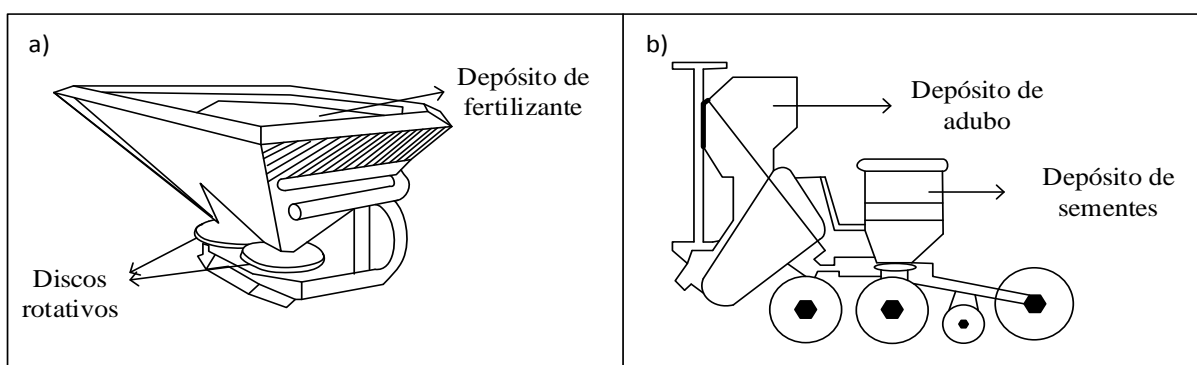


Figura 3 – Equipamentos de distribuição de fertilizantes. a) Equipamento a lanço. b) Semeadora adubadora de linha

Fonte: Adaptado de Balastreire, (1987).

2.3.1 Aplicação de fertilizante de forma variável

Com a ascensão do conceito de agricultura de precisão, novas máquinas foram e estão sendo desenvolvidas, com o intuito de respeitar a variabilidade da lavoura, aplicando os insumos de modo variável.

A aplicação de insumos a taxa variável, caracteriza-se pelo uso de máquinas equipadas com dispositivos capazes de alterar a quantidade de insumo depositado no solo, respeitando a variabilidade das características do solo. A distribuição de insumos a taxa variável pode ser realizada de dois métodos distintos: utilizando-se de mapas de prescrição ou por meio da resposta em tempo real de sensores.

A utilização de mapas de prescrição caracteriza-se por informações previamente armazenadas em dispositivos eletrônicos, que por meio de um software determina a quantidade de insumo aplicada em cada localidade. Este método faz uso de sistemas de posicionamento global, que identifica a posição da máquina no campo e relaciona essa posição com o mapa previamente desenvolvido, aplicando a quantidade pré-estabelecida. A quantidade de produto

aplicado é mensurada em termos de volume do produto por unidade de área ou do peso do produto por unidade de área (MANTOVANI; QUEIROZ; DIAS, 1998).

O segundo método baseia-se na utilização de sensores, onde os insumos são aplicados com base em informações obtidas em tempo real, por meio de sensores, e usadas para controlar a vazão do produto (PIRES et al. 2004).

Em geral, as semeadoras adubadoras de linha a taxa variável utilizam motores para o acionamento do mecanismo dosador, permitindo desta forma, com a alteração da rotação variar a dosagem de fertilizantes aplicado ao solo. A quantidade de motores utilizados depende do fabricante, sendo que alguns utilizam apenas um motor para todas as linhas de distribuição fertilizantes e outros utilizam um motor em cada caixa de depósito de fertilizantes.

É comum durante o processo de fertilização, o agricultor se deparar com situações em que as caixas de adubos estão com quantidades diferentes de fertilizante, mesmo que inicialmente tenha sido alocado a mesma quantidade de fertilizantes em ambas as caixas no instante do abastecimento da semeadora. Trabalhos como o de Siqueira e Casão Junior (2002), relatam que a quantidade de fertilizantes aplicado em cada linha da semeadora adubadora é diferente. Ferreira et al. (2010), destacam também, que a inclinação longitudinal do mecanismo dosador, acarretada pelo relevo provoca variações significativas nas dosagens de fertilizantes. Desta forma, uma possível alternativa para corrigir este problema é a utilização de motores individuais em cada linha da semeadora adubadora, proporcionando reduzir as irregularidades e homogeneizar a aplicação.

2.4 MECANISMOS DOSADORES DE FERTILIZANTES

Os mecanismos dosadores se diferem dependendo do fabricante e nível de tecnologia empregado nas semeadoras adubadoras. Balastreire (1987), descreve alguns mecanismos dosadores de fertilizantes, como: rotor dentados, discos horizontais rotativos, rotor vertical impulsor, sistema de correias ou correntes e cilindros canelados. Portella (1997), destaca que os cilindros canelados embora sejam normalmente utilizados para distribuição de sementes miúdas, também foram utilizados para distribuir fertilizantes.

Uma grande variedade de nomenclaturas é utilizada por diferentes autores para identificar os mecanismos dosadores de fertilizantes. No entanto, através da descrição e ilustração dos sistemas de dosagens, pode-se dizer que os mecanismos do tipo disco estrela, rotor dentado e roseta helicoidal ou dentada são os mesmos, assim como fundo móvel e disco horizontal rotativo, cilindro canelado e rotor acanalado, rotor vertical impulsor e eixo helicoidal

duplo ou simples. Os dosadores sem-fim, também são chamados de helicoidais, helicoidais flutuantes ou espirais flutuantes (BONOTTO, 2012).

Os mecanismos dosadores devem ter capacidade de capturar o fertilizante, desestruturá-lo, conduzi-lo em doses desejada e liberá-lo na tubulação de descarga (CASÃO JUNIOR E SIQUEIRA, 2006). Siqueira (2008), reforça que esses mecanismos devem ser robustos, capazes de desestruturar com facilidade o fertilizante empedrado.

Francetto et al. (2012), identificaram os mecanismos dosadores de fertilizantes presentes nas semeadoras adubadoras de 18 marcas, que englobam 558 modelos e observaram quatro diferentes mecanismos dosadores (Figura 4), são eles: helicoidal, disco horizontal rotativo, cilindro acanalado e rotor dentado.

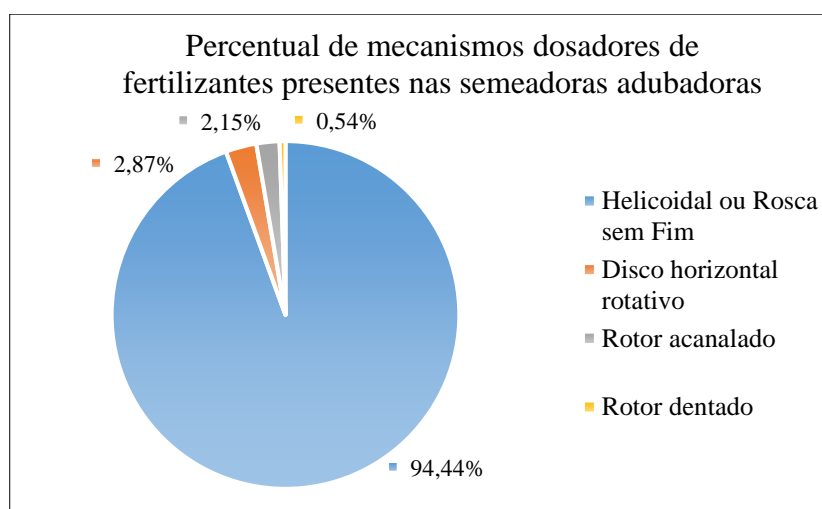


Figura 4 - Percentual de mecanismos dosadores de fertilizantes presentes nas semeadoras adubadoras

Fonte: Adaptado de Francetto et al. (2012).

Observa-se que o dosador do tipo helicoidal, está presente em 94,44% das semeadoras adubadoras, representando 527 modelos do total analisado. A seguir é apresentado os principais mecanismos dosadores de fertilizantes em semeadoras adubadoras presentes na literatura.

2.4.1 Dosador de fertilizantes helicoidal

Esse mecanismo é composto por um helicóide, fixado em um eixo rotativo. Esse conjunto por sua vez, está alocado abaixo do depósito de fertilizantes, onde a velocidade de rotação do eixo controla a quantidade de fertilizante depositada no solo. A Figura 5 ilustra um mecanismo dosador de fertilizantes helicoidal.

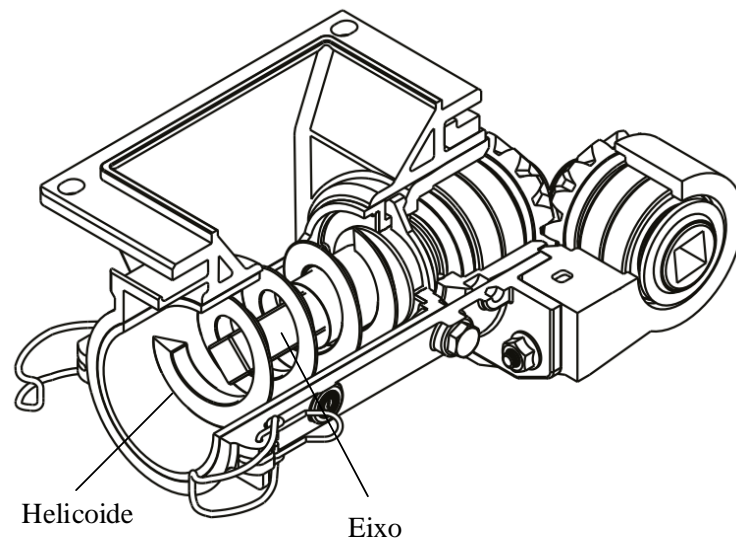


Figura 5 - Dosador de fertilizante helicoidal
Fonte: Fertisystem (2015).

As alternativas para regular a dosagem de fertilizante dos dosadores atuais consiste na alteração da engrenagem que rotaciona o eixo, ou pela substituição da rosca helicoidal com distância entre voltas chamadas de “passos” diferentes (Figura 6).

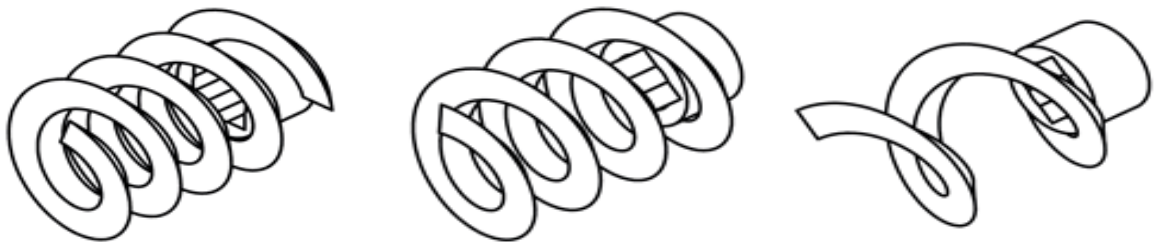


Figura 6 - Rosca helicoidal de diferentes passos
Fonte: Fertisystem (2015).

Quando a semeadora adubadora é submetida a inclinações longitudinais, ou seja, quando o plantio é realizado em terrenos que apresentam inclinações, as roscas helicoidais com menores “passos” reduzem a oscilação na dosagem de fertilizantes (SIQUEIRA 2008).

Os mecanismos que utilizam o sistema helicoidal também denominado “rosca sem fim” podem ser encontrados basicamente em duas configurações, por gravidade ou por transbordo. Siqueira (2008), alerta que esses mecanismos liberam o fertilizante em “pulsos” em função do aspecto construtivo do helicoide, podendo ocasionar desuniformidade ao longo da linha.

O mecanismo dosador por gravidade (Figura 7a) utiliza apenas a gravidade para a distribuição do fertilizante, ou seja, a rosca helicoidal é acionada e empurra o fertilizante para “cair” sobre o solo.

A diferença do mecanismo dosador por transbordo (Figura 7b), está relacionada a utilização um regulador de nível alocado no bocal de saída do mecanismo dosador, criando uma zona de amortecimento reduzindo os “pulsos” gerados pelo helicóide e fazendo com que o fertilizante transborde pelo regulador de nível e seja distribuído ao solo em quantidades volumétricas uniformes e homogêneas.

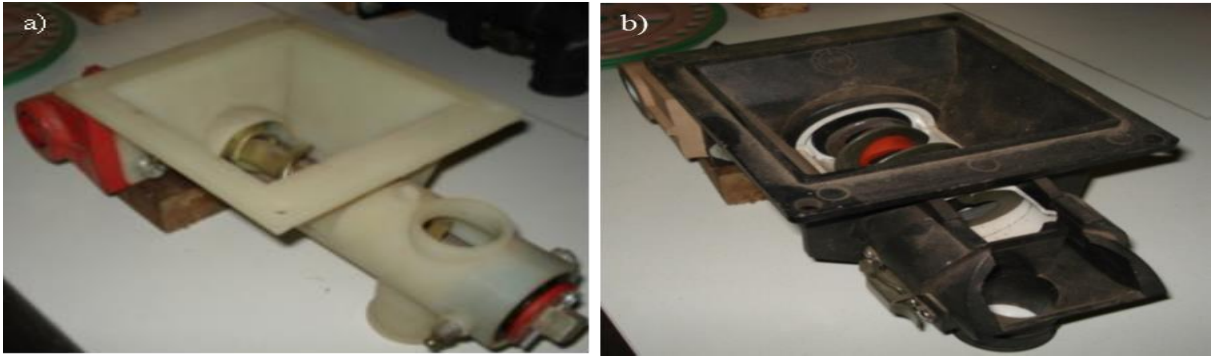


Figura 7 - Mecanismo dosador helicoidal. a) por gravidade. b) por transbordo
Fonte: Ferreira et al. (2010).

2.4.2 Rotor dentado

O mecanismo dosador com rotor dentado (Figura 8), foi um dos primeiros a surgir no mercado, estando presente na maioria dos modelos de semeadoras adubadoras do passado (PORTELLA, 1997). Consistem basicamente de um rotor dentado horizontal, que gira sobre uma placa de apoio que contém o orifício de saída do fertilizante. O acionamento desse mecanismo é ocasionado pelo movimento de rotação das rodas da máquina e transmitido para o rotor dosador por meio de um eixo único. Para controlar a quantidade de fertilizante conduzida ao solo, esse mecanismo possui uma peça denominada “lingueta ajustável”, que controla a espessura da camada de fertilizante empurrada pelos dentes do rotor.

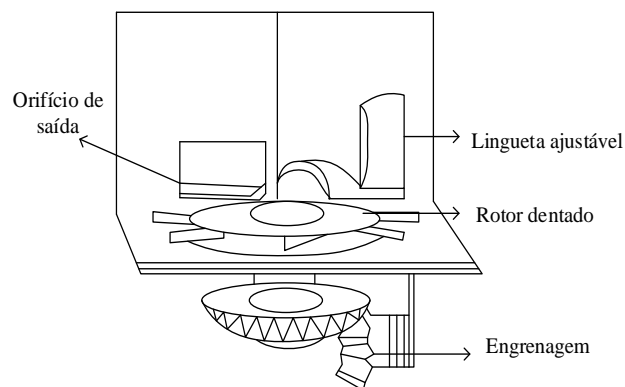


Figura 8 - Dosador de fertilizante rotor dentado
Fonte: Adaptado de Balastreire, (1987).

2.4.3 Rotor acanalado

O dosador rotor acanalado (Figura 9), era bastante utilizado para a distribuição de sementes miúdas, porem já foram utilizados para a distribuição de fertilizantes. Esse sistema de dosagem foi amplamente empregado para dosagem de sementes, até o surgimento dos dosadores de sementes de disco horizontais perfurados. A dosagem do produto pode ser regulada ajustando a distância entre o cilindro e o anteparo, diminuindo a área de passagem do material. Outra alternativa a abertura e fechamento da comporta ajustável, localizada abaixo do rotor, limitando a passagem do produto para o tubo de distribuição (PORTELLA, 1997).

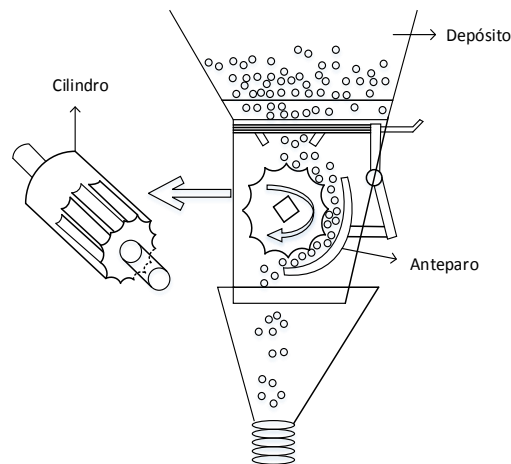


Figura 9 - Dosador de fertilizantes rotor acanalado.
Fonte: Adaptado de Portella, (1997).

2.4.4 Rotor vertical impulsor

Esses mecanismos são constituídos por secções de chapa de ferro fundido ou náilon, que estão fixadas em um eixo de acionamento, possibilitando assim, agitar e impulsionar o fertilizante para a saída do dosador. A quantidade da vazão do fertilizante é regulada ajustando a posição da chapa de ferro (PORTELLA, 1997). A Figura 10 ilustra o mecanismo dosador rotor vertical impulsor.

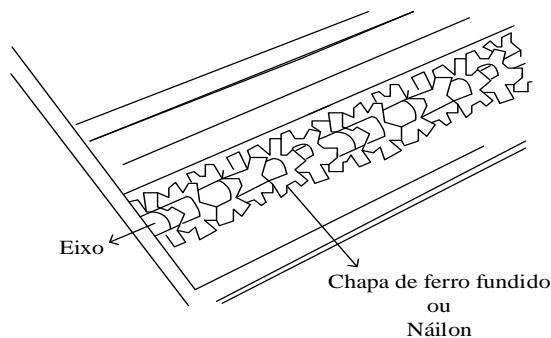


Figura 10 - Dosador de fertilizante rotor vertical impulsor
Fonte: Adaptado de Portella, (1997).

2.4.5 Disco horizontal rotativo

Segundo Silveira (1989), o mecanismo dosador de disco horizontal rotativo (Figura 11), era utilizado na maioria das semeadoras até o final da década de 80. Esse dosador consiste basicamente de um prato rotativo e um raspador de altura regulável, que retira o fertilizante do reservatório, conduzindo-o para o tubo de distribuição. A vazão do fertilizante é proporcional à abertura do orifício de saída e da rotação do mecanismo no depósito de adubo.

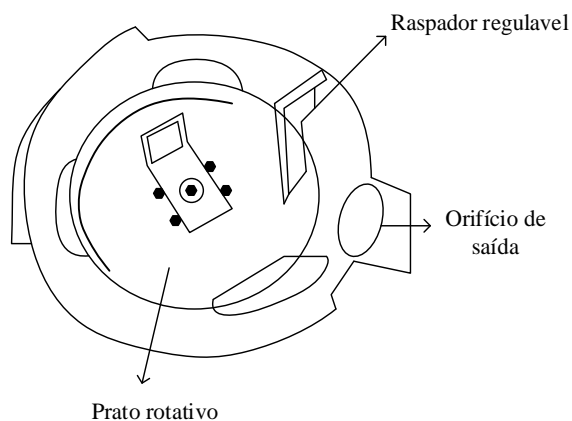


Figura 11 - Dosador de fertilizante disco horizontal rotativo
Fonte: Adaptado de Balastreire, (1987).

2.4.6 Sistemas de correias ou correntes

Esses dosadores como descrito por Balastreire (1987), são constituídos de correias ou correntes que trabalham sob o depósito de fertilizante, podendo assim, dosar a quantidade do produto a ser aplicado, que é realizada pelo transporte e passagem por meio de um orifício regulável. Esse sistema é pouco utilizado em semeadoras adubadoras. A Figura 12 ilustra esse sistema dosador de fertilizante.

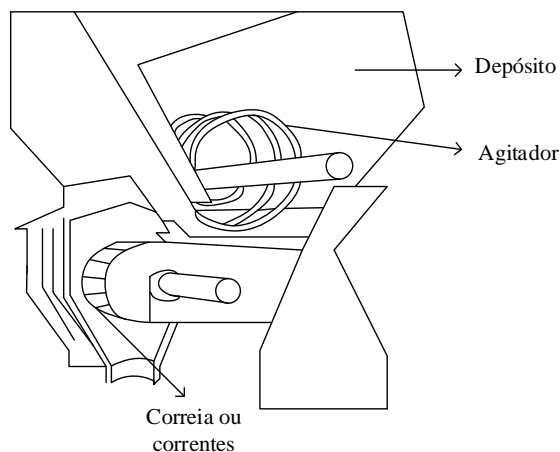


Figura 12 - Dosador de fertilizante de correia
Fonte: Adaptado de Balastreire, (1987).

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS

Com a difusão do conceito de agricultura de precisão, várias pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de desenvolver técnicas e tecnologias capazes de monitorar etapas do processo agrícola, proporcionando maior controle do processo, otimizando o gerenciamento da distribuição dos produtos e redução dos custos de produção.

Nesta seção serão abordados trabalhos referentes a avaliação da distribuição de fertilizantes realizados por mecanismos dosadores, bem como, técnicas e tecnologias desenvolvidas com o intuito de monitorar a regularidade dessa aplicação.

2.5.1 Distribuição de fertilizantes minerais sólidos

O processo de aplicação de fertilizantes é uma etapa essencial do cultivo, pois determina a manutenção de níveis de nutrientes no solo apropriados para o desenvolvimento das culturas (SERRANO et al., 2014). Seguindo este princípio, alguns estudos vêm sendo realizados a fim de desenvolver técnicas e tecnologias para monitorar a regularidade da distribuição de fertilizantes, visando assim, diminuir os impactos ambientais e econômicos que uma distribuição irregular pode ocasionar.

Kim et al. (2008) testaram e avaliaram um protótipo de um mecanismo de distribuição pneumático de fertilizante granulado a taxa variável para a cultura de arroz. Os autores destacam algumas características desejáveis para se obter confiabilidade na distribuição a taxa variável, entre elas: alta precisão, tempo de resposta rápida e uniformidade. Esses critérios foram utilizados para validar o sistema, utilizando diferentes velocidades e taxas de aplicação. A uniformidade de aplicação transversal e longitudinal foi avaliada utilizando o coeficiente de variação (CV), e obtiveram valores entre 11,2% a 13,1% para a uniformidade longitudinal, enquanto a uniformidade transversal obteve resultados entre 2,9% a 15,3%, independente da velocidade de trabalho. Esses resultados foram considerados para os autores como satisfatórios, devido ao coeficiente de variação (CV) ficar abaixo de 15%. O tempo de resposta variou de 1,5s a 3,03s, sendo que a precisão na aplicação ficou entre 81.9% a 97.4% em diversas taxas de descarga, indicando que o sistema subestimou a dose de aplicação prescrita, porém em porcentagens aceitáveis.

Ferreira et al. (2010), avaliaram os mecanismos dosadores de fertilizante do tipo rosca helicoidal por transbordo e por gravidade, alterando a inclinação longitudinal dos dosadores e

variando a rotação do seu eixo. Seus resultados comprovam que as inclinações alteram significativamente a dosagem de fertilizantes em ambas as configurações, sendo que o dosador de fertilizante na configuração por transbordo apresenta melhor desempenho quando comparado ao de gravidade.

Reynaldo (2013), em sua dissertação de doutorado, avaliou 19 mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos do tipo rosca helicoidal de diferentes marcas comercializados atualmente, em diferentes ângulos de nivelamento longitudinal e transversal e com diferentes passos. Seus resultados demonstram que todos os dosadores obtiveram variações significativas quando submetidos a inclinações. Quando o mecanismo foi submetido a inclinações longitudinais, o menor erro encontrado foi de 58,7 kg/ha com rosca helicoidal de uma polegada e o maior erro foi de 426,7 kg/ha com rosca helicoidal de duas polegadas. Para as inclinações transversais o menor erro foi de 0,22kg/ha com rosca helicoidal de duas polegadas e o maior erro foi de 22,55 kg/há com passo de uma polegada. Os maiores erros foram encontrados em ângulos de +5° e +15° em relação ao eixo do mecanismo dosador.

Moreno et al. (2016), estudaram o comportamento de um protótipo de distribuição de fertilizantes helicoidal a taxa variável em bancada. A aplicação teve como referência mapas de prescrição, onde motores elétricos independentes acionam cada dosador que é responsável pela distribuição de três tipos de fertilizantes: nitrogênio, potássio e fósforo. Utilizou-se o programa LabVIEW®8.6, para controlar a rotação dos motores, registrar os dados em mapas de fertilidade do solo e as coordenadas geográficas do instante de aplicação. O protótipo obteve os maiores erros de distribuição em baixas velocidades, sendo que o maior erro ocorreu em rotações de 4 rpm, gerando erro de 8,3% e o menor erro ocorreu em 28 rpm com erro de 0,1%. Com dosagem de 45 kg/ha o protótipo apresentou erro de 3,56% já com dosagem de 85 kg/ha o erro foi de 1,78%, indicando que dosadores helicoidais operando em altas velocidades de rotação podem ter distribuição mais uniforme.

Além de avaliar a precisão dos equipamentos distribuidores, pesquisas estão sendo desenvolvidas com o intuito de controlar ou monitorar a qualidade da distribuição através de sensores e atuadores. Tola et al. (2008), desenvolveram um sistema de controle de distribuição de fertilizantes a taxa variável, utilizando sensores para monitorar a fluxo do fertilizante em tempo real. Para tal, substituíram o reservatório de fertilizantes por um cilindro, mantendo o nível do fertilizante no reservatório uniforme, podendo assim, através de um *encoder* acoplado na parte superior do cilindro, verificar a profundidade do fertilizante no cilindro, conseqüentemente a quantidade de fertilizante que foi depositada no solo. Desta forma, quando

é detectada diferença entre a taxa aplicada e a desejada o sistema atua para compensar essa diferença. Verificaram que o erro de aplicação é menor quando as doses aplicadas são maiores. Suas conclusões afirmam que o sistema foi eficaz na aplicação de fertilizante granulado a taxa variável com erros de $\pm 5\%$, e com tempo de resposta entre uma aplicação e outra de 0.95 a 1.9s.

Bica e Souza (2010), desenvolveram e testaram um sensor com objetivo de avaliar a vazão mássica de adubo em um dosador helicoidal. Os autores relatam a dificuldade de medição da vazão por sensores ultrassônicos e óticos, devido a dispersão dos grânulos no tubo de distribuição. Desta forma, propuseram um sensor de deformação elástica que foi montado em um tubo de 50 mm de diâmetro, no qual foi adaptado um funil para concentrar a passagem do fertilizante. A deformação ocasionada pela massa do fertilizante é medida por um extensômetro, a qual é convertida em massa por tempo resultando em vazão mássica. Por meio dos resultados obtidos com a realização de testes com três diferentes lâminas de aço, sendo elas de 0,10mm, 0,15mm e 0,20mm, verificaram que as duas últimas apresentaram melhor resultados, no entanto os mesmos não foram satisfatórios por não apresentarem repetibilidade consistente.

O trabalho desenvolvido por Garcia et al. (2014), apresenta a construção e simulação de um sistema baseado em lógica *fuzzy* para controlar a vazão mássica aplicada por um dosador de fertilizante do tipo rosca helicoidal. Seus resultados apresentam um CV do fluxo de fertilizante ente 6,32% e 13,18%, apresentando bom desempenho comparado com os CV presentes na literatura. Porém é pertinente ressaltar que o CV foi obtido em testes de bancada, diferentemente dos presentes na literatura citada pelos autores. A variação da velocidade da rosca helicoidal durante o ciclo de operação, melhorou a uniformidade na distribuição de fertilizantes, demonstrando que a utilização de um controlador baseado em lógica *fuzzy* baseado num conjunto de regras é aplicável para a redução da não linearidade do sistema de distribuição de fertilizantes, reduzindo oscilações no fluxo de fertilizantes.

Ramos et al. (2012), utilizou a câmera de infravermelho do sensor Kinect para verificar irregularidades na distribuição de fertilizantes minerais, realizada por um mecanismo dosador helicoidal. Para a realização dos testes, foi necessária iluminação de uma barra de LED direcional para melhor identificação dos grânulos, e que os mesmos estivessem posicionados a uma distância a partir de 40 cm do sensor. Em seus testes, o autor relata a dificuldade de identificar grânulos de fertilizantes que são muito refletivos como o Sulfato de Amônio – SAM, obtendo um erro aproximadamente 15% no cálculo da massa em relação a massa real. Os melhores resultados foram encontrados para a formulação de fertilizante 03-17-00 banhado a óleo, com média de 1,74% de erro em relação ao valor real, representando uma diferença de

0,43g. Em suas conclusões o autor relata que o sensor Kinect é capaz de avaliar a regularidade da distribuição de fertilizantes minerais sólidos, desde que seja em ambiente controlado, pois alterações de luz, bem como as superfícies dos materiais influenciam na resposta do sensor.

Ribeiro (2017), desenvolveu um protótipo de um sensor óptico para mensuramento em tempo real da vazão mássica de fertilizantes granulares, expedidos por mecanismos dosadores helicoidais. Utilizou-se dois modelos de componentes ópticos, sendo eles, um Dispositivo de Carga – CCD e uma Matriz de Fotodiodos – PDA, sendo que apenas a matriz de PDA foi capaz de mensurar a vazão mássica de fertilizantes granulados sólidos. Seus resultados apresentam um coeficiente de correlação R^2 de 0,98, demonstrando que a equação de regressão é adequada para representar a correlação entre a vazão mássica e tensão do sensor. Em sua metodologia, é descrito que não foi utilizado grânulos de fertilizante efetivamente, mas sim grânulos plásticos com densidade e geometria semelhantes ao fertilizante.

2.6 PRINCÍPIOS BÁSICOS SOBRE CAPACITORES

Um capacitor é um dispositivo capaz de armazenar energia elétrica, composto por dois elementos condutores dispostos em proximidade e separados por um isolante, denominado dielétrico (ROBBINS; MILLER, 2013). A relação entre a quantidade de cargas (Q) carregadas nas placas do capacitor e a tensão (V) produzida, é denominada capacitância. Portanto, capacitância refere-se à capacidade de armazenamento de energia elétrica entre os elementos que compõem um capacitor, quando são submetidos a uma diferença de potencial Equação (1), sendo sua unidade de medida em Farad (F) (SMITH; HASHEMI, 2012).

$$C = \frac{Q}{V} [Farad] \quad (1)$$

A capacitância de um capacitor depende principalmente da sua geometria e do seu material isolante (dielétrico) entre as placas. Tomando como base um capacitor de placas paralelas (Figura 13a), carregadas com cargas elétricas opostas $Q+$ e $Q-$ separadas por uma distância d (Figura 13b), com área A e com “ar” entre as placas, a capacitância deste capacitor pode ser expressa pela Equação (2).

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (2)$$

Onde ϵ_0 corresponde a permissividade do vácuo ($\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \cdot C^2 \cdot N^{-1}m^{-2}$).

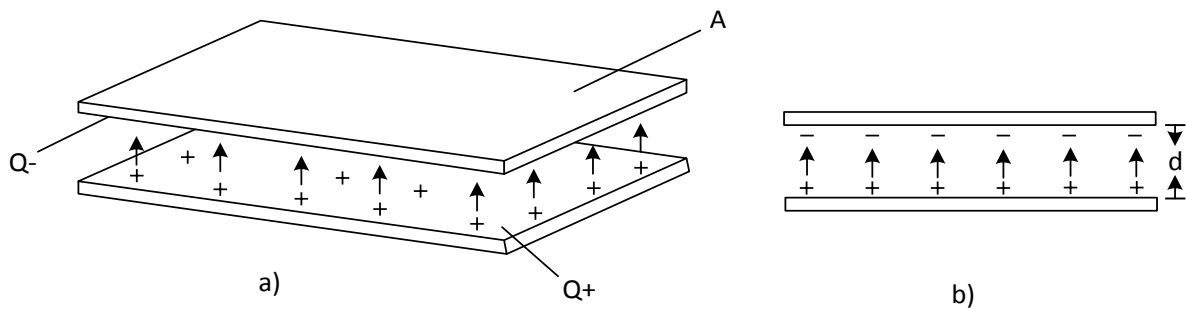


Figura 13 – Capacitor de placas paralelas. a) Carregamento do capacitor de placas paralelas. b) Distância entre as placas do capacitor

Fonte: O autor.

Quando um material dielétrico está presente entre as placas (Figura 14) a capacitância do capacitor é elevada por um valor “k”, conhecido como constante dielétrica ou permissividade dielétrica do material (ϵ_r), sendo esta uma propriedade específica de cada material. Desta forma, a capacitância de um capacitor de placas paralelas com material dielétrico entre as placas é dada pela Equação (3) (SMITH; HASHEMI, 2012).

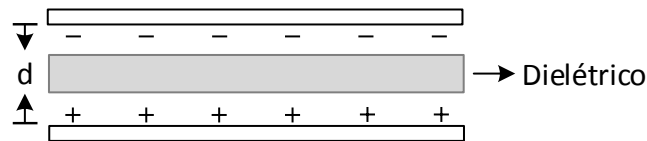


Figura 14 - Capacitor placas paralelas com dielétrico

Fonte: O autor.

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (3)$$

2.6.1 Material dielétrico e constante dielétrica

Os materiais dielétricos são conhecidos por dificultar a passagem de corrente elétrica, devido à forte ligação das partículas com as moléculas constituintes. Uma importante propriedade dos materiais dielétrico é a rigidez dielétrica, que se trata da máxima quantidade de energia elétrica que o material consegue suportar sem que ocorra a ruptura do material (SMITH; HASHEMI, 2012). Quando submetidos a um campo elétrico superior à sua rigidez dielétrica ocorre o fluxo de corrente devido a ionização de suas moléculas, tornando-se um condutor. Em geral os dielétricos físicos reais, apresentam pouca condutividade elétrica.

Quando um material dielétrico é colocado entre os eletrodos de um capacitor sobre a ação de um campo elétrico, os elétrons das moléculas do material dielétrico tendem a se separar levemente de seu núcleo carregado positivamente, essa separação é referida como polarização,

e as moléculas adquirem um momento de dipolo elétrico (TIPLER; MOSCA, 2006). O grau de polarização depende não somente do campo elétrico, mas também das propriedades moleculares do material dielétrico.

Como resultado da polarização os dipolos orientados criam um campo que sobrepõe ao campo externo, determinando desta forma, o comportamento dielétrico do material. A aferição dessa medida é denominada constante dielétrica ou permissividade do material (CALLISTER; RETHWISCH, 2007).

A constante dielétrica é uma propriedade intrínseca, e está relacionada com a resposta dos materiais quando submetidos ao campo elétrico (BERNAL, 2010). A constante dielétrica de um material influencia diretamente na capacitância do capacitor ou sensor capacitivo. A Tabela 1 apresenta algumas materiais dielétricos e suas respectivas constantes dielétricas.

Tabela 1 - Materiais e suas respectivas constantes dielétricas

Material	Constante Dielétrica
Vácuo	1
Ar (1 atm)	1,00054
Poliestireno	2,6
Papel	3,5
Óleo de transformador	4,5
Pirex	4,7
Mica	5,4
Porcelana	6,5
Silício	12
Etanol	25
Água (20°C)	80,4
Água (25°C)	78,5
Alumina (Al ₂ O ₃)	9
Titanato de Bário	1500

Fonte: Halliday; Resnick e Walker, (2010).

2.7 SENSORES CAPACITIVOS

A capacitância de um sensor capacitivo depende da geometria dos eletrodos, área dos eletrodos, distância entre os eletrodos, material que são constituídos e do dielétrico que está presente entre os eletrodos (ARENY, 2004). Para uma geometria básica, a alteração da capacitância pode ser realizada alterando a distância (d) entre os eletrodos que compõem o sensor (Figura 15a), ou alterando da área comum (x') entre as superfícies, (Figura 15b), ou ainda, alterando o material dielétrico (ϵ) presente entre os eletrodos (Figura 15c) (Stevan et al. 2015).

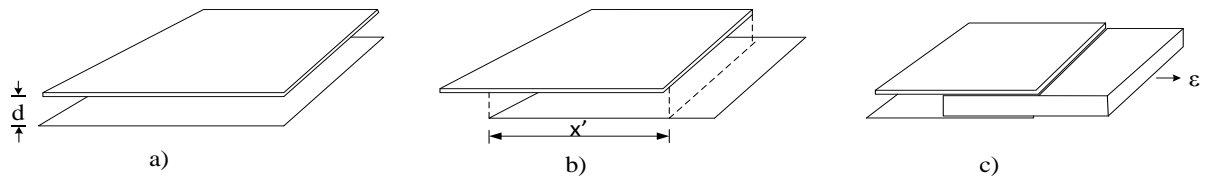


Figura 15 – Métodos de alteração da capacitância. a) Alteração da distância. b) Alteração da área comum entre as placas. c) Inclusão do dielétrico entre as placas
Fonte: Adaptado de Stevan et al. (2015).

No que se refere a alteração do dielétrico, cada material possui sua constante dielétrica, onde materiais com constante dielétrica alta, são mais fáceis de serem detectados do que os materiais com constante dielétrica mais baixas (ORDOÑEZ; PENTEADO e DA SILVA, 2005).

2.7.1 Efeito de campo de borda ou efeito “franja”

O campo elétrico gerado por dois eletrodos energizados tende a sair de forma perpendicular do eletrodo positivo e chegar de forma perpendicular ao eletrodo negativo. No caso composto por duas placas paralelas, o campo elétrico tende a ser uniforme na região central das placas, porém é não uniforme nas bordas das placas, apresentando uma deformação das linhas de campo elétrico, sendo conhecida como efeito de campo de borda, ou efeito “franja”.

A Figura 16 exemplifica essa deformação das linhas do campo elétrico tomando como base um sensor capacitivo de placas paralelas.

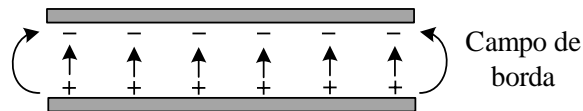


Figura 16 - Efeito de campo de borda
Fonte: Adaptado de Robbins e Miller, 2013.

A Figura 17 ilustra a possível distribuição das linhas de campo para um eletrodo com forma geométrica não plana. Neste caso, percebemos que quanto mais próximos estão as superfícies dos eletrodos, mais são concentradas as linhas de campo, e quando a distância aumenta, o campo vai ficando mais fraco.

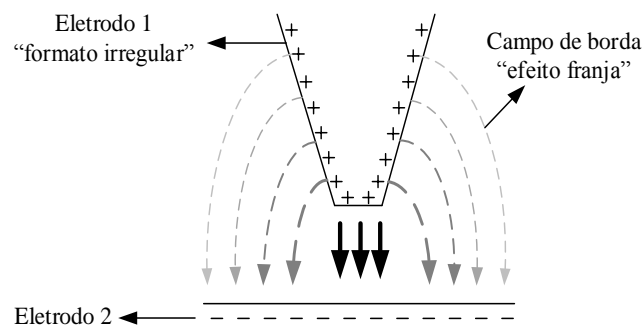


Figura 17 - Efeito franja em eletrodos não uniformes
Fonte: O autor.

2.7.2 Métodos de mensuramento da capacitância

Diversos circuitos presentes na literatura possibilitam a medição de capacitância, como de Huang et al (1988b), Shi et al. (1991), Yang (1996), Karlsson (1999), Li e Meijer (2000), Li e Meijer (2002), Baglio et al. (2004), Heidary e Meijer (2008) e George e Kuman (2010). Destaca-se alguns métodos bastante utilizados para o mensuramento da capacitância, como: impedância capacitiva, ponte capacitiva e osciladores (STEVAN et al. 2015). Huang et al (1988a), compara alguns desses métodos e acrescenta a utilização do método de carga e descarga.

2.7.2.1 Impedância capacitiva

Este método consiste em mensurar a impedância capacitiva (X_c), monitorando a tensão (V_s) sobre um resistor (R) conectado em série ao capacitor (C) e uma fonte de alimentação AC. Quando a capacitância aumenta, há uma redução na impedância do capacitor e um aumento na tensão do resistor. Esse aumento não é linear com a capacitância, mas pode ser aproximado linearmente para baixos valores de resistência (WINTLE, 1990). A Figura 18 ilustra um circuito básico para esse método.

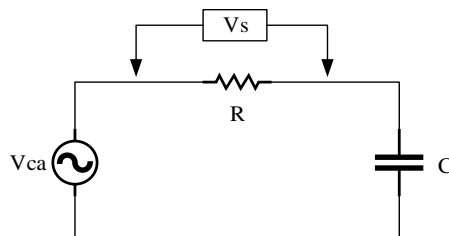


Figura 18 - Circuito impedância capacitiva
Fonte: Adaptado de Halliday; Resnick e Walker, (2010).

2.7.2.2 Ponte Capacitiva

De acordo com Huang (1988a), esse método é preciso para mensuramento de capacitância, por meio de uma ponte capacitiva, alimentada por uma fonte AC (também não linear). A vantagem é que não há alteração do sinal de saída resultante das mudanças de frequência. Ao adicionar um amplificador operacional, é possível aumentar o sinal de saída proporcionalmente à capacitância (TERESHCHENKO; BUESINK; LEFERINK, 2011). Saxena e Tayal, (1981), apresentaram um circuito baseado em ponte capacitiva (Figura 19) com alimentação CA (corrente alternada), para o mensuramento da capacitância. Além da ponte capacitiva o circuito conta com oscilador, amplificador, filtros e retificadores.

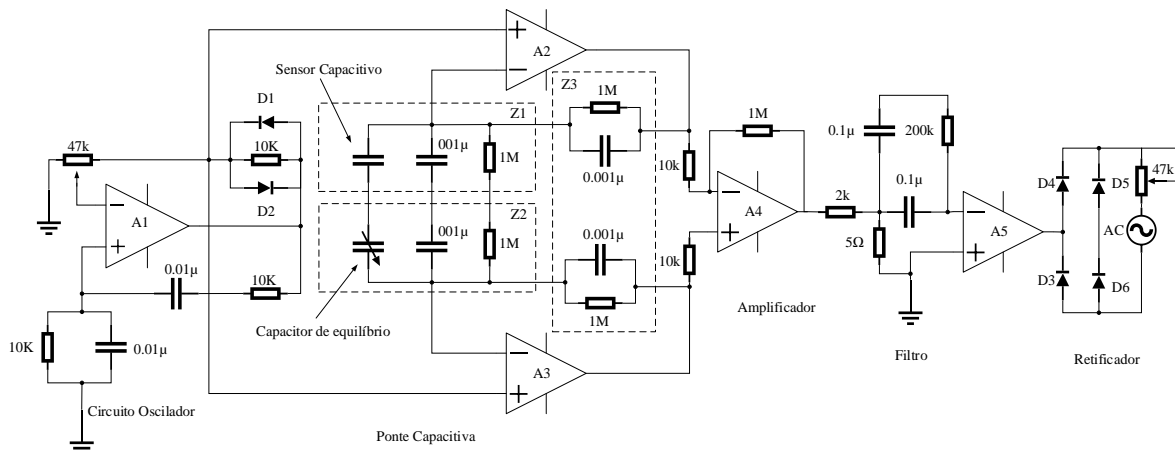


Figura 19 - Circuito ponte capacitiva
 Fonte: Adaptado de SAXENA e TAYAL, (1981).

2.7.2.3 Osciladores

Este método consiste na conversão da capacitância do sensor em um sinal de onda quadrada com frequência proporcional. Chung et al. (2009), descreve alguns circuitos osciladores utilizados para medir capacitância, como: oscilador *Three-Gate*, oscilador *Two-Inverter*, oscilador *Schmitt Trigger*, oscilador *astable* (Figura 20). Em geral neste método, a frequência de oscilação depende da capacitância desconhecida de um capacitor (C) (HUANG et al. 1988a). Dentre estes osciladores, destaca-se a utilização do circuito integrado 555, que um amplamente utilizado na eletrônica, devido ao seu baixo custo e alta versatilidade.

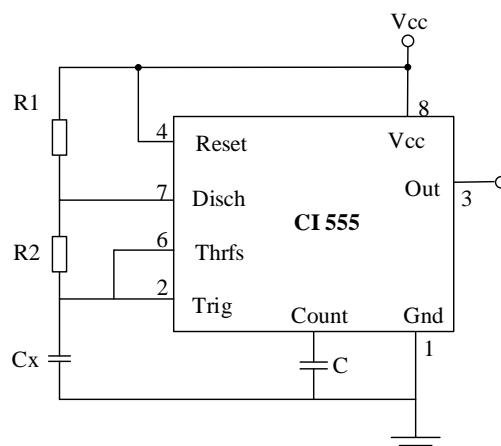


Figura 20 - Circuito oscilador astável com circuito integrado 555
 Fonte: Adaptado de Chung et al. (2009).

2.7.2.4 Método de carga e descarga

Esse método consiste em um ciclo de operação com duas fases, denominados; fase de carga e fase de descarga. Durante a fase de carga, as chaves S1 e S4 (Figura 21) estão fechadas

e as chaves S2 e S3 estão abertas, desta forma a corrente flui pelo capacitor C_x e pela resistência R_f de realimentação do amplificador operacional 1. No final dessa fase C_x estará carregado com o valor de tensão V_+ da fonte de alimentação. Na fase de descarga apenas as chaves S2 e S3 são mantidas fechadas, fazendo com que o capacitor C_x descarregue, fluindo uma corrente reversa pelo resistor R de realimentação do amplificador 2. Esse procedimento de carga e descarga é realizado com uma frequência “ f ”, sob o controle de um relógio, sendo o sinal de saída V_s , um sinal com frequência proporcional a capacitância C_x (YANG, 1996).

Neste circuito, os capacitores C são responsáveis por filtrar os picos de tensão que ocorrem quando o capacitor C_x é carregado e descarregado. As capacitâncias parasitas C_{pa} e C_{pb} não influenciarão nas medições, devido a C_{pa} estar conectada diretamente a tensão de alimentação ou aterrada e C_{pb} conectada ao terra virtual do amplificador operacional, considerado um circuito imune a capacitâncias parasitas. A principal desvantagem desse circuito é o erro de injeção de carga proveniente das chaves analógicas.

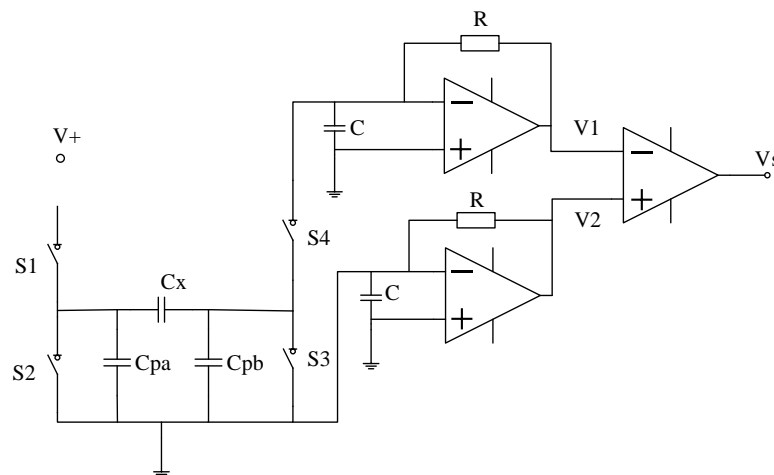


Figura 21 - Circuito carga e descarga
Fonte: Adaptado de Yang (1996).

2.8 APLICAÇÕES DE Sensores Capacitivos na Agricultura

A aplicação de sensores capacitivos na agricultura vem sendo relatada em diversos trabalhos, principalmente para a determinação do teor de umidade do solo. O teor de umidade do solo pode ser determinado através do seu efeito na constante dielétrica, verificando a variação da capacitância entre os eletrodos implantados no solo (ZAZUETA e XIN, 1994).

Da Costa et al. (2017), desenvolveram um sensor capacitivo de campo de franja para mensuramento da umidade do solo visando o controle da irrigação. O sensor foi fabricado de placas de Circuito Impresso – PCI convencional e revestida por uma fina camada de polidimetilsiloxano – PDMS em ambos os lados, com objetivo de maximizar a sensibilidade do

sensor. Uma cerâmica porosa colocada nos eletrodos com o intuito de minimizar erros relacionados ao mau contato entre os eletrodos e o solo, assim como os eletrodos são cobertos totalmente pela cerâmica porosa, a alteração da capacitância será ocasionada apenas pela água absorvida pela cerâmica e não por outros dielétricos inerentes ao processo. Dentre outros resultados apresentados pelo autor, destaca-se que a condutividade da água influencia na resposta do sensor, sendo que, quando o sensor foi exposto a água da torneira e água da chuva que apresenta alta condutividade o sensor apresentou capacitância de $64,12 \pm 0,01$ pF, porém quando exposto a água deionizada a capacitância obtida foi de 62,0 pF, sendo necessária a calibração do sensor dependendo de sua utilização.

Mcintosh e Casada (2008), desenvolveram um sensor capacitivo de campo de franja de baixo custo, com capacidade de medir o teor de umidade, temperatura e a compactação de commodities agrícolas, dentre elas trigo, milho armazenados a granel. O sensor foi desenvolvido utilizando três eletrodos cilíndricos alinhados ao longo de um eixo, sendo que os eletrodos externos são aterrados e o eletrodo ativo está localizado entre os eletrodos aterrados. Desta forma, as linhas do campo elétrico estão divididas em dois conjuntos de linhas. O eletrodo ativo (positivo) foi coberto por uma luva isolante de fluoropolímero, evitando corrente de fuga entre os eletrodos. Para os testes o produto foi armazenado em recipientes de 20 cm de diâmetro por 50 cm de altura, sendo a sonda inserida a uma profundidade de 30 cm. De acordo com os autores os testes realizados indicam que o sensor oferece promissora capacidade de mensurar a umidade, temperatura e a compactação de grãos. Ainda segundo os autores como a capacitância do sensor depende da constante dielétrica do conjunto grão, ar e umidade, pode-se assim, estimar seu grau de compactação. Para o trigo compactado com teores de umidade entre 0,4% e 15%, a constante dielétrica foi 1,1% maior do que para os grãos descompactados. A capacitância do sensor no ar quando exposto a uma temperatura de 10°C a 40°C aumentou em 0,88% indicando a necessidade de compensação da capacitância decorrida da temperatura para medições precisas.

Diversos outros trabalhos como o de Borim e Pinto (2006), Cruz et al. (2010), Segundo et al. (2011), Freitas et al. (2012), Zhang et al. (2013), Mizuguchi et al. (2014), Kojima et al. (2016) e Da Fonseca et al. (2017), relatam o desenvolvimento de sensores capacitivos para a determinação do teor de umidade do solo.

Grande parte dos estudos voltados a sensores capacitivos tem ênfase em processos para a determinação de umidade, devido a sua constante dielétrica ser 80 vezes maior que a do ar,

numa temperatura de 20°C, alterando significativamente o campo elétrico do sensor possibilitando sua detecção e mensuramento (MIZUGUCHI, 2014).

Outras aplicações também são encontradas, como o trabalho realizado por Hazarika et al. (2006), que desenvolveram um sensor capacitivo para o monitoramento do teor de umidade das folhas de chá na fase de secagem. Berbert et al. (2007), empregaram o método capacitivo para determinar o teor de água em sementes de café. Celinski e Zimback (2010), desenvolveram um sensor capacitivo de baixo custo e avaliaram a correlação entre a leitura da capacitância elétrica e as propriedades físicas, químicas do solo e o teor de água, verificando boa correlação com os seguintes atributos: pH, cálcio, magnésio, soma de base e capacidade de troca de cátions. Kim et al. (2016), utilizaram sensor capacitivo para monitorar o fluxo de grãos no processo de colheita, obtendo correlação $R^2 = 0,9996$ entre o sinal de resposta do sensor e a quantidade de grãos, demonstrando a viabilidade do sistema.

Destaca-se o trabalho desenvolvido por Liming et al. (2017), que está diretamente correlacionado com o presente projeto de pesquisa. Seu estudo, propõe um sensor capacitivo constituído de três eletrodos para medições do fluxo de massa de fertilizantes destinada ao solo. O dispositivo é inserido internamente no duto de ejeção do fertilizante ao solo. Segundo os autores, durante a operação de fertilização, o fertilizante cai em queda livre em um tubo fechado, sendo direcionado ao solo, desta forma a inserção de um sensor capacitivo gerando um campo de detecção internamente ao tubo, possibilita detectar a alteração da capacitância ocasionada pela presença de diferentes constantes dielétricas, como o ar e o adubo. A Figura 22 ilustra o diagrama estrutural do sensor proposto onde os eletrodos 1 e 2 formam o sensor de capacitância de fluxo de fertilizante e os eletrodos 2 e 3 formam um sensor de capacitância de referência. Os testes foram realizados com fertilizantes comuns utilizados na agricultura, ureia (N), superfosfato (P) e sulfato de potássio (K), sendo que os grânulos possuem partículas uniformes e sem aglomeração. Ainda segundo os autores, a temperatura ambiente é um dos fatores que afetam o desempenho dos sensores capacitivos, assim os testes foram realizados em faixas de temperaturas de 15 a 55°C, onde foi constatado que a capacitância aumentou de 0,02 pF para 0,33 pF devido ao aumento gradativo da temperatura. O fluxo de fertilizante foi mensurado com base na alteração da capacitância, onde segundo os autores, conforme o aumento da massa do fertilizante aumenta linearmente a capacitância do sensor, onde o coeficiente de determinação R^2 para o conjunto N, P e K foi de 0,9889, 0,9898 e 0,9935 respectivamente. Desta forma, os autores destacam que medindo a mudança de capacitância do sensor pode-se mensurar o fluxo de massa do fertilizante. Em suas conclusões, os autores

destacam que o sensor pode medir com precisão a quantidade de fertilizante destinado ao solo com erro de medição de 3,75%, e que também pode identificar entupimento do tubo de ejeção com precisão de 100%.

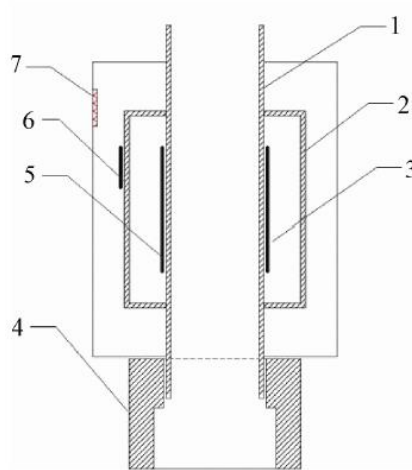


Figura 22 - Diagrama do sensor. 1- Tubo de fertilizante, 2 – Proteção do tubo, 3 – Eletrodo capacitivo 1, 4 – Base fixada, 5 – Eletrodo capacitivo 2, 6 – Eletrodo capacitivo 3, 7 – Circuito de condicionamento
Fonte: Liming et al. (2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

4 DESENVOLVIMENTO

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

6 CONCLUSÕES

O sensor desenvolvido baseou-se em um mecanismo dosador de fertilizantes comercial, promovendo a menor alteração física possível no mecanismo dosador. Desta forma, baseado em resultados empíricos e análises experimentais comprova-se sua eficácia, podendo ser uma nova ferramenta de auxílio ao produtor, tanto para indicar a presença ou ausência de fertilizantes, quanto variações na distribuição ocasionada por obstrução ou qualquer outro fator que reduza o fluxo de fertilizante pré-estabelecido.

O sensor identificou em 100% dos experimentos realizados a ausência ou a presença de fertilizantes independente da formulação testada. Todos os dados coletados apresentaram CV abaixo de 10%, representando homogeneidade e baixa dispersão dos dados em torno da média aritmética.

Em todos os experimentos realizados para identificação de variações na distribuição, o sensor identificou a redução do fluxo de saída do fertilizante, e conseqüentemente diminuiu sua capacitância quando na imposição de uma obstrução em todos os experimentos realizados.

O sensor mostrou-se ter potencial de identificar a formulação de fertilizante presente no mecanismo dosador. Apenas as formulações 02-28-20 e 06-21-12, não se diferem estatisticamente pela análise ANOVA e pelo Teste de Tukey, a uma significância de 5%.

A umidade teve influência na resposta do sensor, sendo que as alterações mais significativas ocorreram quando o teor de umidade está na faixa de 6,33% e 7,56%, tendo acréscimo de capacitância de 493,60% e 385,51% em relação as umidades iniciais de 1,66% e 2%. Desta forma, torna-se necessário aprofundar os estudos e verificar a necessidade de introduzir sensores para monitorar e corrigir as alterações ocasionadas pelas grandezas incluídas no processo, como a umidade.

Embora existam deficiências mecânicas presentes nos mecanismos dosadores como folgas no eixo, os quais introduzem erros que devem ser ajustados para melhora a estabilidade da resposta do sensor, os resultados obtidos já afirmam sua capacidade de identificação das situações propostas

7 TRABALHOS FUTUROS

Sob Proteção - Propriedade Intelectual
RESOLUÇÃO CEPE No 019, DE 17 DE ABRIL DE 2018.

8 REFERÊNCIAS

- ARENY, Ramón Pallás. **Sensores y acondicionadores de señal**. Marcombo, 2004.
- ATKINS, Peter W.; JONES, Loretta. **Princípios de Química-: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2009.
- ALCARDE, J. C.; MALAVOLTA, E; BORGES, A. L; MUNIZ, A. Z; VELOZO, C. A; FABRICIO, A.C; VIEGAS, I. de J. M. Avaliação de higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. **Scientia. Agrícola**, Piracicaba-SP, p.137-144, 1992.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA, 3.ed., São Paulo, 1998.
- AUERNHAMMER, Hermann. Precision farming—the environmental challenge. **Computers and electronics in agriculture**, v. 30, n. 1, p. 31-43, 2001.
- BAGLIO, S; CASTORINA, S; GANCI, G; SAVALLI, N. A high sensitivity conditioning circuit for capacitive sensors including stray effects compensation and dummy sensors approach. **IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Vol. 2, p. 1542 – 1545, 2004.
- BAIO, Fabio Henrique Rojo.; MOLIN, José Paulo; LEAL, Aguinaldo José Freitas. **Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em culturas anuais**. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, 2012.
- BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.
- BAXTER, Larry K. **Capacitive Sensors: design and applications**, 1997.
- BERBERT, Pedro Amorim; MOLINA, Marília Amorim Berbet; CARLESSO, Vinicius Oliveira; OLIVEIRA, Márcia Terezinha Ramos. Determinação do teor de água de sementes de café empregando o método da capacitância em rádio frequências. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 159-170, 2007.
- BERNAL, José Ignacio Marulanda. **Dispositivos de Microondas utilizando filmes de alta constante dielétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- BICA, M. R. R., SOUSA, E. A. C. **Medição de vazão mássica para adubos sólidos em sistemas de adubação a taxas variáveis**. In: IV Seminário da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Unesp – Bauru. 2010.
- BONOTTO, G. J. **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS. 97p. 2012.
- BORIM, Andréa Carla Alves; PINTO, Carlos Alberto Ramos. Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 51-60, 2006.

BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, 60(3), 197-217, 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa N° 46, de 22 de novembro de 2016**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 4, Seção I, 2016.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Materials science and engineering**. 7° ed NY: John Wiley & Sons, 2007.

CASÃO JR, R.& SIQUEIRA, R. **Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto**. In: CASÃO JR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.(ed). Sistema plantio direto com qualidade. Iapar / Itaipu Binacional, Londrina / Foz do Iguaçu, 2006. p.85-126.

CELINSKI, Victor George; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Avaliação de um sensor de capacitância elétrica e sua correlação com atributos do solo. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 2, p. 157-170, 2010.

CHUNG, Y.C.; AMARNATH, N.N.; FURSE, C.M. Capacitance and inductance sensor circuits for detecting the lengths of open and short circuited wires. **IEEE Trans. Instrum. Meas.**, 58, p. 2495–2502, 2009.

COLET, Marcelo J.; SVERZUT, Claudio B.; NETO, Pedro H. Weirich; JUNIOR, Ineu A. Schoenberger; SLOB, Monica R. Muito além da semeadura. **Revista Cultivar**, n. 38, Fevereiro de 2005.

COELHO, Antonio Marcos; DE FRANÇA, Gonçalo Evangelista. **Nutrição e adubação do milho**. 2006.

CRUZ, Tadeu M. L; TEIXEIRA, Adunias Dos S; CANAFÍSTULA, Francisco J. F; DOS SANTOS, Clemilson C; DE OLIVEIRA, Antonio D. S; DAHER, Sérgio. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, 2010.

DA COSTA, Eduardo Ferreira; DE OLIVEIRA, Nestor E; MORAIS, Flávio J. O.; DIAS, Pedro Carvalhes; DUARTE, Luis, Fernando C.; CABOT, Andreu; DIAS, J. A. Siqueira. A self-powered and autonomous fringing field capacitive sensor integrated into a micro sprinkler spinner to measure soil water content. **Sensors**, v. 17, n. 3, p. 575, 2017.

DA FONSECA, Newton SSM; FREIRE, Raimundo C. S.; BATISTA, Adriano; FONTGALLAND, Glauco. A passive capacitive soil moisture and environment temperature UHF RFID based sensor for low cost agricultural applications. In: Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), 2017 **SBMO/IEEE MTT-S International**. IEEE, 2017. p. 1-4.

DE ANDRADE, Mario Geraldo Ferreira; PIMENTA, Paulo Roberto; MUNHÃO, Eder Eugenio; DE MORAIS, Mauro Iris. **Controle de custos na agricultura: um estudo sobre a rentabilidade da cultura da soja**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Custos, 2011, Rio de Janeiro.

FERREIRA, Mauro Fernando Pranke; DIAS, Vilnei De Oliveira; OLIVEIRA, Adroaldo; ALONÇO Airton dos Santos; BAUMHARDT, Ulisses Benedetti. **Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal**. Revista Engenharia na agricultura, Viçosa, Minas Gerais v. 18, p. 297-304, 2010.

FERTISYSTEM, **Manual do operador**. (2015). Disponível em:<<http://www.agromac.com.br/arq/20150929145007398620644.pdf>>.

FILHO, A. P.; CASTIONE, G.; STORINO M. **Avaliação da qualidade de distribuição reduzida de fertilizantes para milho**. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de agosto de 2012.

FRAISSE, C. W.; FAORO, L. **Agricultura de precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas**. Revista Fator GIS, Curitiba, n. 21, p. 28-33, 1998.

FREITAS, Wellington A; CARVALHO, Jacinto de A; BRAGA, R. A; DE ANDRADE, Messias J. B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 268-274, 2012.

FRANCETTO, T. R. DAGIOS, R. F.; FERREIRA, M. F.; ALONÇO, A. S. **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.

FURLAN, Fernando; DALLABRIDA, Willian R. **Distribuição de adubos de diferentes fórmulas em mecanismos dosadores de semeadoras-adubadoras**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34. Canoas: ULBRA, jul. 2005.

GARCIA, Angel Pontin. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletro-mecânico para dosador de fertilizantes**. 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física 3: eletromagnetismo**. 8 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2010.

HAZARIKA, D; LASKAR, S; SARMA, A; SARMAH, P. K. PC-Based instrumentation system for the detection of moisture content of tea leaves at its final stage. **IEEE Transactions on instrumentation and measurement**, v. 55, n. 5, p. 1641-1647, 2006.

HEIDARY, A; MEIJER, G. C. M. Features and design constraints for an optimized sc front-end circuit for capacitive sensors with a wide dynamic range, **IEEE Journal of Solid- State Circuits** 43(7): p. 1609 –1616, 2008.

HOSSEINI, Mehran; ZHU, Guchuan; PETER, Yves-Alain. A new formulation of fringing capacitance and its application to the control of parallel-plate electrostatic micro actuators. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 53, n. 2-3, p. 119-128, 2007.

HUANG, S. M; STOTT, A. L; GREEN, R. G; BECK, M. S. Electronic transducers for industrial measurement of low value capacitances. **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, v. 21, n. 3, p. 242, 1988a.

HUANG, S. M, GREEN, R. G, PLASKOWSKIT, A. B, BECKT, M. S. **Conductivity effects on capacitance measurements of two-component fluids using the charge transfer method.** *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, v. 21, n. 6, p. 539, 1988b.

ISHERWOOD, K.F. **Mineral fertilizer use and the environment.** International Fertilizer Industry Association – IFA. Paris, Franca, 2000.

KARLSSON, N. A study of a high-resolution linear circuit for capacitive sensors. **IEEE Trans. Instrum. Meas.** 48(6): p. 1122–1124, 1999.

KIM, Y.J; KIM, H.J; RYU, K.H; RHEE, J.Y. Fertiliser application performace of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. **Biosystems Engineering.** p. 498-510, 2008.

KIM, Chiho; CHOI, Mankwon; PARK, Taejong; KIM, Myeongil; SEO, Kwangwook; KIM, Hyeontae. Optimization of yield monitoring in harvest using a capacitive proximity sensor. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 9, n. 2, p. 151-157, 2016.

KOJIMA, Yuki; SHIGETA, Ryo; MIYAMOTO, Naoya; SHIRAHAMA, Yasutomo; NISHIOKA, Kazuhiro; MIZOGUCHI, Masaru; KAWAHARA, Yoshihiro. Low-Cost Soil Moisture Profile Probe Using Thin-Film Capacitors and a Capacitive Touch Sensor. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1292, 2016.

LI, X; MEIJER, G. C. M. Elimination of shunting conductance effects in a lowcost capacitive-sensor interface. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement** 49(3): p. 531–534, 2000.

LI, X; MEIJER, G. C. M. An accurate interface for capacitive sensors. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement** 51(5): p. 935–939, 2002.

LINSLEY, C. M., & BAUER, F. C. (1929). **Test your soil for acidity.** Circular, University of Illinois, Agricultural Experiment Station; no. 346.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. dos S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais.** 2.ed. Pelotas: UFPEL, 253p, 2005.

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. **Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão.** In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. Mecanização e agricultura de precisão. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 109-157., 1998.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos.** EMBRAPA Solos, 1999.

MARTINS, Marcelo de Mello. **Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos.** 1999, 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

- MASSEY FERGUSON. **Catalogo plantadora de arrasto MF 500**. Fev de 2016.
- MCINTOSH, Robert B.; CASADA, Mark E. Fringing field capacitance sensor for measuring the moisture content of agricultural commodities. **IEEE sensors journal**, v. 8, n. 3, p. 240-247, 2008.
- MENEGATTI, Ana Laura Angeli; BARROS, Alexandre Lahóz Mendonça de. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 1, p. 163-183, 2007.
- MILAN, M.; GADANHA, J. C. D. Ensaio & certificação de máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos, 1996.
- MIZUGUCHI, Jaime; PIAI, Juliano Chico; DE FRANÇA, José. Alexandre; FRANÇA, Maria B. de Moraes; YAMASHITA, Karina; MATHIAS, Luis Carlos. Sensor pente capacitivo aplicado a determinação da umidade do solo. **In; Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática**. Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de Setembro de 2014.
- MOLIN, J. P.; MAZZOTTI, H. C. **Influência da utilização e do tipo de amortecedores de ricochete em ensaios de aplicadores a lanço**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, p. 281-285, 2000.
- MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.
- MORENO J. R. S., RAIMO C. D., CAVALCANTI R. R. C., MONTEZUMA M. A., SOUZA E. A. C. Study of an electromechanical system for solid fertilizer variable rate planting. **African Journal of Agricultural**. vol. 11(3), pp. 159-165, 21 Janeiro, 2016.
- ORDOÑEZ, Edward David Moreno; PENTEADO, Cesar Giacomini; DA SILVA, Alexandre César Rodrigues. **Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação**. Novatec Editora, 2005.
- PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985.
- PIRES, João Leonardo Fernandes; DA CUNHA, Gilberto Rocca; PASINATO, Aldemir; FRANÇA, Solange; RAMBO, Lisandro. **Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2004.
- FULTON, John; PORT, Kaylee. **Physical properties of granular fertilizers and impact on spreading**. The Ohio State University – Collage of food, agricultural and environmental sciences. 2016.
- PORTELLA, A. J.; Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em maquinas agrícolas. Passo Fundo, RS, 1997.

RAMOS, M. R. **Uso de sensor Kinect para medir a regularidade na distribuição de fertilizantes sólidos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2012.

REYNALDO, ÉTORE FRANCISCO. Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes ângulos de nivelamento longitudinal e transversal. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, São Paulo, 2013.

REYNALDO, ÉTORE FRANCISCO. Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes ângulos de nivelamento longitudinal e transversal. **Revista Energia na agricultura**, Botucatu, vol. 30, n.2, p.125-136, abril-junho, 2015.

REYNALDO, É. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D.; SCWARTZ, S. R. **Distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.23; p486 2016.

RIBEIRO, Antônio Henrique Boaro. **Sensor óptico de vazão mássica para fertilizante granular**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP, Fev. 2017.

RICHETTI, Alceu; MELO FILHO, Geraldo Augusto de; PARIZOTO, Angela Maria. **Estimativa de custo de produção de soja, safra 1996/97**. Comunicado Técnico, EMBRAPA-CPAO, 1996.

ROBBINS, Allan H.; MILLER, Wilhelm C. **Circuit analysis: Theory and practice**. Cengage Learning, 2013.

SAMPAIO, J. A; FRANÇA, S. C. A; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007.

SAXENA, Suresh C.; TAYAL, Gajendra M. Capacitive moisture meter. **IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation**, n. 1, p. 37-39, 1981.

SEGUNDO, Alan K. Rêgo; MARTINS, José H; MONTEIRO, Paulo M. de B; DE OLIVEIRA, Rubens A; FILHO, Delly Oliveira. Development of capacitive sensor for measuring soil water content. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 260-268, 2011.

SCHNEIDER, Paulo A.; FEY, Emerson; ORLANDO, Auri F.; PIVETTA, Laércio A.;

SERRANO J.; PEÇA J.; MOLIN, J. S.; SHAHIDIAN S. Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente. **Revista de Ciências Agrárias**, 2014, 37(3): 270-279.

SHI, T. M; XIE, C. G; HUANG, S. M; WILLIAMS, R. A; BECK, M. S. Capacitance-based instrumentation for multi-interface level measurement. **Measurement Science and Technology**, v. 2, n. 10, p. 923, 1991.

SILVEIRA, Gastão Moraes. As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras. Globo, 1989.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JR, R. Dinâmica de semeadoras adubadoras diretas em Entre Rios do Oeste - PR - (resultados de avaliação). Londrina-PR: **IAPAR**, 2002.

SIQUEIRA, Rubens. Milho: Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: **XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**. 2008.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. AMGH Editora, Porto Alegre – RS, 2012.

STEVAN, Sergio Luiz; PAITER, Leandro; GALVÃO, José Ricardo; ROQUE, Daniely Vieira; CHAVES, Eduardo Sidinei. Sensor and Methodology for Dielectric Analysis of Vegetal Oils Submitted to Thermal Stress. **Sensors**, v. 15, n. 10, p. 26457-26477, 2015.

SUDDUTH, K. A.; BIRRELL, Stuart J.; HUMMEL, J. W. Sensors for Site-Specific Management. **The Site-Specific Management for Agricultural Systems, USA**, 1997.

SWINTON, S. M., & LOWENBERG-DEBOER, J. **Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why**. In Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture p. 557-562, Junho, 2001.

TERESHCHENKO, O.V.; BUESINK, F.J.K.; LEFERINK, F.B.J. An overview of the techniques for measuring the dielectric properties of materials. **In: Proceedings of the General Assembly and Scientific Symposium**, Istanbul, Turquia, 13–20 August 2011; p. 1–4.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros volume 2: eletricidade e magnéticos, óptica. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A 5° ed. 2006.

TOLA, E., KATAOKA, T., BURCE, M., OKAMOTO, H., & HATA, S. Granular fertiliser application rate control system with integrated output volume measurement. **Biosystems Engineering**, 101(4), p. 411-416, 2008.

UMEZU, C. K. Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2003.

YANG, W. Q. Hardware design of electrical capacitance tomography systems. **Measurement Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 225, 1996.

YARA Brasil. **Propriedade físicas dos fertilizantes (online)**. Disponível em: <<http://www.yarabrasil.com.br/nutricao-plantas/manuseio-seguro-fertilizantes/propriedades-fisicas-fertilizantes/>>. Acesso em 10/10/2017.

YULE, I. J; CAIN, P.J; EVANS, E.J; VENUS, C. A spatial inventory approach to farm planning. **Computers and electronics in agriculture**, v. 14, n. 2, p. 151-161, 1996.

WINTLE, H.J. Capacitance corrections for the guard, edge and corner situations. In Proceedings of the Conference Record of the 1990 **IEEE International Symposium on Electrical Insulation**, Toronto, ON, Canada, 3–6 June 1990; p. 435–438.

ZAZUETA, Fedro S.; XIN, Jiannong. Soil moisture sensors. **Soil Sci**, v. 73, p. 391-401, 1994.

ZHANG, Hongxia; LIU, Wei; TAN, Boxue; LU, Wenling. Corn Moisture Measurement using a Capacitive Sensor. **Journal of Computers**, v. 8, n. 6, p. 1627-1631, 2013.

Zhou Liming et al. Design and Experiment of the Fertilizer Amount Detection System Based on the Capacitance Method. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 24, p. 006, 2017.