

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

HIGOR ZAMBALDI TRABUCO

PEDRO HENRIQUE TOMASELI ZUGAIB

**DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO PARA FERTILIZANTES  
SÓLIDOS**

PROPOSTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2017

HIGOR ZAMBALDI TRABUCO  
PEDRO HENRIQUE TOMASELI ZUGAIB

**DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO PARA FERTILIZANTES  
SÓLIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina TCC 1, do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. André Sanches  
Fonseca Sobrinho

Coorientador: Prof. Conrado Di Raimo

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2017



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Cornélio Procópio  
Departamento Acadêmico de Elétrica  
Curso de Engenharia de Controle e Automação



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Henrique Tomaseli Zugaib

Desenvolvimento de um medidor de vazão para fertilizantes sólidos

Trabalho de conclusão de curso apresentado às hs do dia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação no programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). André Sanches Fonseca Sobrinho - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Me(a). Conrado Di Raimo - (Coorientador)

---

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - (Membro)

---

Prof(a). Dr(a). Kleber Romero Felizardo - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Cornélio Procópio  
Departamento Acadêmico de Elétrica  
Curso de Engenharia de Controle e Automação



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Higor Zambaldi Trabuco

Desenvolvimento de um medidor de vazão para fertilizantes sólidos

Trabalho de conclusão de curso apresentado às hs do dia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação no programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Dr(a). André Sanches Fonseca Sobrinho - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Me(a). Conrado Di Raimo - (Coorientador)

---

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - (Membro)

---

Prof(a). Dr(a). Kleber Romero Felizardo - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, o nosso agradecimento à Deus, o principal responsável por nossa chegada a esse ponto de nossa jornada.

Em seguida, o agradecimento aos nossos familiares, que nos proporcionam a chance de correr atrás dos nossos sonhos, nos apoiando de todas as maneiras possíveis, com conselhos e com a confiança que depositam em nós. Todos os meses de trabalho foram inspirados em vocês, que mesmo de longe nos dão força para continuar e se orgulham de cada pequena conquista que alcançamos.

Aos amigos que ao longo desses 5 anos de graduação, se tornaram nossa segunda família, sem eles não chegaríamos até aqui, pois esses amigos foram nosso suporte, compartilhando os momentos de alegria e também os de decepções. Foram eles quem nos alegraram nos momentos de desânimo, nos ajudaram nos momentos de dificuldade e jamais nos permitiram desistir. Em especial, citamos os que estão conosco desde o começo do curso e que deixarão saudades imensas, Thainara de Araújo, Luana Souza, Giovana Lima, André Fernandes, Gabriela Batista, Marcus Vinicius Medeiros, Denise Akai e também a outros amigos que fizemos ao longo da jornada, Vinicius Valerio, Daniel Begotti e Felipe Góes, por fim aos veteranos, que se tornaram muito especiais, Tayane Vidal, Veridiana Contieri e Bruno Dominato.

Agradecemos também aos amigos que mesmo distantes se fizeram presentes e nos ofereceram ajuda ou simplesmente uma palavra amiga, Rodrigo Lemos, Eduardo Klemtz, Marcos Antônio, Rafael Ferreira, Romulo Azeredo, Yuri Rodrigues, Ana Carla Victoriano, João Victor Reis, Luiz Fernando Giraldi, Nicolas Robarts.

E fazemos questão de agradecer também a cada um de nossos professores, do ensino médio a graduação, os quais tem nosso respeito e admiração pela honrada profissão que escolheram, mas em especial aos que se mostraram professores não só por profissão, mas por vocação, como Glaucia Bressan, Gabriela Cavalheiro, Cristiano Agulhari, Wagner Endo, Emerson Ravazzi, Kleber Felizardo, Marilu Martens, Andrés Sanches Fonseca Sobrinho e Maria Eugenia Dajer.

Por fim, agradecemos a paciência e ensinamentos do nosso orientador, André Sanches Fonseca Sobrinho e de nosso Co-orientador Conrado Di Raimo.

## RESUMO

TRABUCO, Higor Z. ZUGAIB, Pedro Henrique T. **Desenvolvimento de um medidor de vazão para fertilizantes sólidos**. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

A aplicação de mecanismos dosadores é fundamental para o panorama agrícola, num cenário em que, insumos são indispensáveis para a produção. Busca-se uma produtividade satisfatória para competitividade de mercado e que seja ao mesmo tempo, sustentável.

Este trabalho tem como objetivo a construção de um dispositivo medidor de vazão mássica que esteja apto a realizar a medição do fluxo de massa de fertilizantes sólidos que serão aplicados a taxas variáveis, controlando assim, a necessidade do solo e tornando o processo de adubação mais preciso, sustentável e econômico.

No desenvolvimento deste trabalho, foram analisados e testados, os desempenhos de dois diferentes princípios para a dosagem do fertilizante e, posteriormente, o princípio com melhor desempenho foi selecionado por meio de uma avaliação em quesitos de precisão, aplicabilidade e eficiência.

As técnicas estudadas foram, a de um medidor de vazão por indução eletromagnética através de bobinas e a de um medidor de vazão usando fotodetecção. Paralelamente à análise das possibilidades de sensoriamento e posteriormente à escolha da melhor técnica, foi desenvolvido o *firmware* de processamento digital dos dados, que foi realizado através de um microcontrolador.

O sensor construído, conta a passagem de grânulos de adubo através de uma interrupção externa com bordas de saída, por fim, a informação da quantidade de grânulos é convertida para gramas antes de ser disponibilizada.

**Palavras-chave:** Medidores de Vazão; microcontrolador; agricultura de precisão; instrumentação industrial.

## ABSTRACT

TRABUCO, Higor. ZUGAIB, Pedro Henrique. **Development of a flow meter for solid fertilizers**. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

The application of metering mechanisms is fundamental for the agricultural scene, in a scenario in which, inputs are indispensable for the production. Agricultural producers look for a satisfactory productivity for market competitiveness and at the same time, sustainability.

The objective of this work is the construction of a mass flow measuring device that is capable of measuring the mass flow of solid fertilizers that will be applied at variable rates, thus controlling the need of the soil and making the fertilization process more precise, sustainable and economic.

In the development of this work, the performance of two different principles for the fertilizer dosage were analyzed and tested, and, subsequently, the principle with better performance was selected through an evaluation in terms of precision, applicability and efficiency.

The techniques studied were that of an electromagnetic induction flow meter through coils and that of a flow meter using photodetection. Parallel to the analysis of the possibilities of sensing and subsequent to the choice of the best technique, the digital data processing firmware was developed, which was performed through a microcontroller.

The sensor constructed counts the passage of fertilizer granules through an external interruption with exit edges, finally, the amount of granules information is converted to grams before being made available.

**Keywords:** Flowmeter; microcontroller; precision agriculture; industrial instrumentation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protótipo.....	18
Figura 2 - Fotodiodo operando no modo fotovoltaico.....	28
Figura 3 – Sensor de adubo utilizado no monitor de plantio Agvert AG800 da empresa Agral.....	29
Figura 4 – Amplificador operacional.....	30
Figura 5 – PIC18F4550.....	31
Figura 6 – Pinagem PIC18F4550.....	32
Figura 7 – Sistema final.....	35
Figura 8 – Etapas de desenvolvimento.....	36
Figura 9 – Circuito esquemático do emissor.....	37
Figura 10 – Circuito esquemático do receptor.....	38
Figura 11 – Encaixe do sensor no tubo de escoamento.....	39
Figura 12 – Posicionamento do sensor evitando pontos “escuros”.....	40
Figura 13 – Tubo de escoamento.....	40
Figura 14 – Teste do sensor fotodetector.....	41
Figura 15 – Enrolamento das bobinas.....	42
Figura 16 – Sistema das bobinas no estado geral.....	43
Figura 17 – Comportamento das bobinas - Parafusos.....	44
Figura 18 – Comportamento das bobinas – Grânulos de fertilizante.....	44
Figura 19 – Anomalia na detecção do sensor.....	46
Figura 20 – Esquemático do novo circuito do sensor.....	48
Figura 21 – Amp-Op comparador.....	49
Figura 22 – Leitura do sensor com o Amp-Op comparador.....	50
Figura 23 – Sistema.....	53
Figura 24 – Bordas de saída – 10 gramas (Fósforo).....	54
Figura 25 – Quantidade em gramas da vazão de fósforo.....	54
Figura 26 – Close-up da captura da vazão em gramas.....	55
Figura 27 – Bordas de saída – 8 gramas (Potássio).....	55
Figura 28 – Quantidade em gramas de vazão de Potássio.....	55
Figura 29 – Close-up da captura de vazão em gramas.....	56
Figura 30 – Bordas de saída – 10 gramas (Nitrogênio).....	56
Figura 31 – Quantidade em gramas de vazão de Nitrogênio.....	57
Figura 32 – Close-up da captura de vazão em gramas.....	57
Figura 33 – Close-up da captura de vazão em gramas simultaneamente.....	59



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma.....	38
----------------------------	----

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
$\varphi$	Fluxo magnético
$Q_v$	Vazão volumétrica
$Q_m$	Vazão mássica
V	Volume
m	Massa
t	Tempo
$m^3/s$	Metro cúbico por segundo
$m^3/h$	Metro cúbico por hora
l/h	Litro por hora
l/m	Litro por minuto
GPM	Galão por minuto
kg/s	Quilogramas por segundo
kg/h	Quilogramas por hora
T/h	Toneladas por hora
Lb/h	Libra por hora
m/s	Metro por segundo
$Wb/m^2$	Weber por metro quadrado
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i>
VRT	<i>Variable Rate Technology</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
AP	Agricultura de precisão
RAM	<i>Random access memory</i>
RISC	<i>Reduced instruction set computer</i>
PWM	<i>Pulse width modulation</i>
CPU	<i>Central processing unit</i>
bps	Bytes por segundo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Problema.....	16
1.2	Justificativa.....	18
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.3.1	Objetivo geral.....	19
1.3.2	Objetivos específicos.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	20
2.1	Agricultura de Precisão.....	20
2.2	Variabilidade espacial e temporal dos solos.....	21
2.3	Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis.....	22
2.4	Tecnologias de monitoramento e controle.....	23
2.5	Medidores de vazão.....	24
2.5.1	Medidor de vazão magnético.....	25
2.5.2	Medidor de vazão por fotodeteccção.....	27
2.6	Amplificador operacional.....	29
2.7	Microcontroladores.....	31
2.8	Comunicação serial assíncrona.....	31
2.9	Linguagem de programação C e o MPLAB.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Testes e avaliação para medição da vazão.....	36
3.1.1	Testes de funcionamento com sensor fotodetector.....	36
3.1.2	Testes de funcionamento com sensor eletromagnético.....	42
3.1.3	Escolha da técnica.....	45
3.2	Tratamento do sinal.....	45
3.2.1	Elaboração do novo circuito do sensor.....	47
3	Desenvolvimento do firmware.....	50
3.3.1	Medição da vazão em gramas.....	51
3.3.2	Disponibilidade da informação.....	52
4	RESULTADOS.....	53
5	CONCLUSÃO.....	58
5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
	REFERÊNCIAS.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de modernização da agricultura começou a ser propagado desde a metade do século XX, com objetivo de aumentar a capacidade produtiva das culturas mediante a inserção de inovações tecnológicas (MATOS & PESSÔA, 2011).

No Brasil, a agricultura se destaca como uma das áreas econômicas mais fortes, uma vez que o país tem um papel importante como fornecedor de produtos agrícolas. Na prática agrícola, caracteriza-se cada vez mais a busca pela produção sustentável e tecnologias que impulsionem a qualidade de seus produtos, elevando a produtividade, melhorando os métodos de gestão, contribuindo para a preservação do meio ambiente e como consequência, possibilitando um bom posicionamento no mercado (ELIAS, 2003).

As inovações tecnológicas a serem introduzidas no setor agrícola são compostas por máquinas, novos equipamentos, fertilizantes e etc. Mais do que evolução das ferramentas de produção, novos conceitos também surgem na agricultura para convergir à essas inovações. Desde o começo dos anos 90, a técnica da agricultura de precisão, se tornou comercialmente acessível. Essa técnica vem com a proposta de fazer um uso mais eficiente dos insumos agrícolas (SWINTON & LOWENBERG-DEBOER, 1998).

Levando em conta os objetivos da agricultura de precisão, para uma estratégia de manejo mais eficiente e uso racional de insumos, faz-se pertinente a utilização de um dispositivo medidor de vazão para fertilizantes, uma ferramenta que pode enriquecer tecnologicamente maquinários agrícolas, tornando processos como o de tratamento de solos e monitoramento de plantio, mais inteligentes.

## 1.1 Problema

Há um longo tempo, agricultores tem buscado novos métodos para aperfeiçoar as suas atividades de produção, como maximização da produtividade da cultura, a busca de melhoramento genético, novas tecnologias aplicadas em correção e adubação do solo, variando a taxa de insumo de acordo com as características dos solos e do desempenho da cultura (COELHO, 2002).

A aplicação de insumos aos solos é uma prática comum dentro da agricultura. Um dos componentes mais importantes na busca por uma produtividade satisfatória, sem esquecer os outros fatores de produção, é a pesquisa em fertilidade dos solos e as inovações científicas e tecnológicas que permitem o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes na agricultura brasileira (SCHEID e GUILHERME, 2007).

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de tipos de solos, consequência direta das diferentes formas e tipos de relevo, clima, vegetação e organismos associados, que acabam condicionando diferentes processos formadores de solos. Faz-se então uma adaptação dos solos para determinadas atividades, já que nutrientes químicos são constantemente perdidos, havendo a necessidade de constante reposição (RAIJ, 2010)..

Os fertilizantes agrícolas são utilizados para aumentar a quantidade de nutrientes disponível, principalmente nitrogênio, potássio e fósforo (o conhecido fertilizante com fator NPK). Essas práticas, no entanto, podem causar degradação química dos solos, quando se tem acumulação de elementos ou compostos em níveis indesejáveis (RAIJ, 2010).

Neste cenário em que os insumos se fazem fundamentais para uma boa produção e que sua participação nos custos de produção é relevante, a dosagem da vazão dos fertilizantes deve existir e ser realizada de forma uniforme, precisa e contínua durante toda a operação, garantindo resultados satisfatórios de produção e ao mesmo tempo, proteção do solo e do meio ambiente (REYNALDO, 2013).

Uma área de pesquisa que surge neste contexto, é a Agricultura de Precisão, que em termos práticos, envolve a obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas de cultivo agrícola, visando definir estratégias de manejo mais eficientes, em especial, o uso racional de insumos (PIERCE & NOWAK, 1999).

No presente estado da arte, esse novo sistema de manejo proposto pela Agricultura de Precisão, caracterizado pelo uso intensivo de informações, necessita de impulsionamento em desenvolvimento e implantação. As etapas de monitoração, componentes que dão suporte à decisão e fornecem informações, se encontram em fase de maturação comercial e por serem fortemente embasadas em soluções da mecatrônica aplicada ao campo (robótica autônoma, sensores, sensores remotos, monitoramento à distância e etc.), são vistos como os maiores desafios da Agricultura de Precisão (OLIVEIRA, 2009).

Este trabalho é inspirado pela pesquisa do Engenheiro e Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio, Conrado Di Raimo. Sua pesquisa foi publicada durante o III Seminário Anual da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, um evento promovido pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Unesp – Câmpus de Bauru. Trata-se do desenvolvimento de um protótipo para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos (N, P e K) a taxas variáveis de maneira localizada, em máquinas de plantio direto.

Utiliza-se um mapa de aplicação<sup>1</sup> obtido após todo o estudo de fertilidade de determinado solo, este mapa é inserido em um computador com o auxílio de um GPS para a informação exata das coordenadas geográficas, o protótipo faz o controle dos três motores elétricos independentes, cuja função será de regular a rotação através de um software de instrumentação e controle virtual. A vazão é uma variável dependente da rotação, fazendo com que cada motor tenha uma rotação diferente, dependendo da quantidade de fertilizante necessária em cada ponto amostral do solo no momento do plantio.

O protótipo surgiu influenciado pela vertente da agricultura de precisão e visa atender às necessidades do solo de maneira precisa, utilizando os dados obtidos no mapa de aplicação. Essa informação, é posteriormente comparada com os valores de vazão mássica determinada em função do tempo e quanto menor for a discrepância entre esses dois dados, maior será a precisão na aplicação do insumo.

---

<sup>1</sup> O mapa de fertilidade/aplicação é uma ferramenta muito utilizada para que seja possível gerenciar os insumos de forma inteligente, aumentando o potencial produtivo e rentabilidade das lavouras. Esses mapas são normalmente produzidos por empresas especializadas em consultoria agrônômica.

Como citado anteriormente, atualmente o protótipo trabalha conectado à um software de monitoramento virtual, neste caso, o LabVIEW® da *National Instruments™*, o que tem limitado o modo de ação da máquina.

**Figura 1: Protótipo**



**Fonte: Conrado Di Raimo - III Seminário da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Unesp – Bauru.**

## **1.2 Justificativa**

Com isso, esse trabalho tem como objetivo construir um dispositivo que possa ser facilmente adaptado ao protótipo para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos, desenvolvido pelo Professor Eng. Conrado Di Raimo, possibilitando verificar se a dosagem da formulação que está sendo aplicada em cada ponto corresponde à quantidade necessária no momento do plantio, ou seja, garantir que só esteja sendo depositado aquilo que realmente for necessário ao solo.

O uso de sensores para a verificação da vazão mássica dos insumos concederia maior liberdade de movimento à máquina, uma vez que, as medidas poderiam ser feitas diretamente no campo, sem a dependência de um software de monitoramento.

Para a construção do dispositivo, será feita uma análise de técnicas de sensoriamento para mensuração do fluxo de vazão de um fertilizante do tipo NPK e a busca pela melhor forma de realizar o processamento digital dos dados, garantindo eficiência e precisão na medida.

Além disso, com a construção do protótipo, será possível realimentar o sistema de controle, ou seja, fechar a malha de controle da máquina de aplicação de fertilizantes, proporcionando à mesma, maior precisão e a diminuição da possibilidade de trabalho com os reservatórios vazios.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Esse trabalho propõe o desenvolvimento um medidor de vazão para fertilizantes sólidos.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Testar a medição de vazão de fertilizantes sólidos, utilizando o princípio da indução eletromagnética;
- Testar a medição de vazão de fertilizantes sólidos, utilizando fotodeteção;
- Analisar, definir e desenvolver a melhor técnica, dentre as duas propostas, para a medição de vazão;
- Desenvolver a técnica de processamento digital dos dados provenientes do medidor;
- Construir o protótipo do medidor de vazão.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Agricultura de precisão

Nos últimos 100 anos, a agricultura brasileira sofreu um grande desenvolvimento. Quando se observa resultados de produtividade e número de culturas, é possível ver aumentos significativos nas últimas três décadas. Isso é resultado de diversas inovações tecnológicas, além de pesquisas na área (ELIAS, 2003).

O mercado globalizado exige das empresas uma reestruturação, impulsionando o engajamento na busca por avanços tecnológicos, quando se fala de indústrias nacionais, esse quesito se torna ainda mais importante para a competitividade no mercado mundial. Juntamente com a necessidade de métodos de produção mais eficientes, os empreendedores buscam atender à requisitos de sustentabilidade (CIRANI & MORAES, 2010).

Tal realidade, demanda do setor agroindustrial uma atuação empresarial que precisar unir dois diferentes objetivos, a otimização dos sistemas produtivos e a minimização do impacto ambiental. Para o enfrentamento desse desafio, a empresa agrícola busca novas técnicas, surge então a Agricultura de Precisão (AP).

A agricultura de precisão apresenta-se como um conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura. Inclui maximizar a rentabilidade das colheitas, tornando o agronegócio mais competitivo frente ao processo de globalização da economia e contribuir, assim, para o sucesso da atividade agrícola (OLIVEIRA et al; 2007, SILVA et al; 2008, CARVALHO et al; 2009).

A Agricultura de Precisão foi introduzida no Brasil há pouco mais de uma década, e de acordo com (HURLEY et al; 2005), (MZUKU et al; 2005) e (DERCON et al; 2006) baseia-se na premissa de que a gestão dos fatores de produção pode ser melhorada e seu foco é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos. Difundiu-se fortemente no período, a técnica de processamento de dados georeferenciados, que juntamente com a popularização dos equipamentos GPS (*“Global Positioning System”*), se tornou uma aplicação comum.

O uso da AP, envolve parcerias entre grupos de pesquisa das mais diversas áreas do agronegócio, envolvendo instituições como universidades, institutos de pesquisa e empresas privadas do setor agrícola e tecnológico.

O processo de aplicação da AP inicia-se com o intuito de buscar a variabilidade espacial da fertilidade prévia do solo, a obtenção dessas informações permite que seja realizada uma amostragem criteriosa. Essa amostragem permite então um tratamento direcionado da fertilidade do solo, aplicando corretivos e fertilizante a taxas variáveis, buscando sanar problemas que podem vir a depreciar a qualidade e a produtividade da lavoura por falta ou excesso dos nutrientes essenciais.

A agricultura de precisão já de início proporciona um maior detalhamento de informações pela amostragem em grade quando comparada ao sistema de manejo tradicional com correção e adubação realizadas de maneira uniforme nas lavouras, em que muitas vezes o produtor nem sequer faz uso de resultados de análise do solo para definir as quantidades a aplicar.

Apesar das novas evoluções tecnológicas promoverem o uso da automação no melhoramento de atividades básicas da produção agrícola, as pesquisas associadas à Agricultura de Precisão vêm evoluindo em um ritmo lento quando comparado ao esperado (PIRES; PASSINATO; RAMBO et al.).

No Brasil, vários fatores sugerem uma adoção relativamente lenta e heterogênea, como na verdade vem ocorrendo no resto do mundo (LOWENBERG-DEBOER e GRIFFIN, 2006). Entre os fatores preponderantes da limitada adoção da tecnologia no país destacam-se: mão de obra barata, número limitado de computadores em fazendas; altas taxas de importação para equipamentos de última geração; suporte técnico insuficiente e despreparado; baixo valor de mercado dos produtos agrícolas; baixa escala de produção na maioria das fazendas; e o preço relativamente baixo das terras (OLIVEIRA, 2009).

## **2.2 Variabilidade espacial e temporal dos solos**

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade (CORÁ, 1997). A variabilidade dos fatores de produção está associada a diversas causas, da variedade climática até a distribuição dos nutrientes ao redor do solo em questão. Pode-se então dizer que

cada solo tem suas características próprias e diferem entre si, com maior ou menor variabilidade espacial entre seus atributos, tornando evidente a necessidade de diferentes grades amostrais que demonstrem a representatividade em cada área (KNOB, 2006).

As formas de variabilidade estudadas na AP, se dividem em duas, a variabilidade espacial (aquela que ocorre com um atributo na área, por exemplo, a variação de concentração de fósforo no solo de uma área de 30 hectares) e a variabilidade temporal (aquela que ocorre ao longo do tempo, por exemplo, a disponibilidade de água ao solo em função da precipitação e sazonalidade da região) (FARNHAM, 2000).

Conhecer a variabilidade espacial de distribuição dos atributos e propriedades do solo, é extremamente importante para o refinamento das práticas de manejo, não só para análise do impacto ambiental da agricultura, mas também, para caracterização das necessidades do solo perante sua amostragem, possibilitando uma otimização da frota agrícola, além de economia de tempo, combustível, uma diminuição do desperdício de defensivos agrícolas, eficiência de serviço e redução de custos de mão de obra e produção.

Através do mapeamento dos atributos químicos do solo, é possível planejar as posteriores atividades de correção do solo, seja a aplicação de um determinado corretivo, ou a dosagem de um fertilizante de forma variável (CORÁ, 2004).

### **2.3 Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis**

Como o próprio nome sugere, essa técnica de aplicação de fertilizantes, caracteriza-se pela sua forma de aplicação variável dos insumos. Diferente dos métodos tradicionais de aplicação, onde se usa uma estratégia que trabalha com médias, a aplicação a taxas variáveis na AP, considera a variabilidade espacial, prescrevendo a taxa de fertilizantes necessária e específica de cada pequena área do espaço a ser tratado (SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAWA, 2000).

Os mapas amostrais que são obtidos em etapas precedentes, funcionam como base para a etapa de aplicação do fertilizante, trazendo as necessidades ponto a ponto do terreno. De posse dos mapas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), por exemplo, é possível gerar mapas de prescrição de fornecimento de fertilizantes

em quantidades distintas para diferentes partes do terreno, de acordo com a mudança na condição de fertilidade de um local para outro dentro da sua área.

No entanto, para que isso possa ser executado, os equipamentos de dosagem precisam de diversas evoluções em seus mecanismos e formas de processamento. Além da necessidade de alta precisão para atender às exatas quantias de vazão demandadas, é preciso levar em conta que os fertilizantes podem apresentar variações de granulação e densidade (SCHOENAU & GREER, 1996).

A união dessas etapas, é o que se designa pelo termo em inglês, “*Variable Rate Technology*” (VRT), que é traduzido como aplicação a taxas variáveis, por sua vez, a execução total das etapas, desde a amostragem até a aplicação dos fertilizantes, compõe o que chamamos de manejo localizado, o principal serviço oferecido pela AP (LUCHIARI et al; 2004).

## **2.4 Tecnologias de monitoramento e controle**

O uso efetivo de informações monitoradas tem sido o grande desafio no desenvolvimento da AP, é necessário que seja feito um manejo apropriado da variabilidade observada nos sistemas de plantio e para isso, a pesquisa agrônômica precisa direcionar seus esforços na busca por ferramentas tecnológicas que sejam capazes de incorporar o conhecimento científico no planejamento e execução dos processos de produção.

São muitas as inovações em equipamentos de monitoração, controle e armazenamento de dados, relacionados a produção por máquinas e instrumentação agrícola. Ainda em fase madura de desenvolvimento, surge uma nova geração de instrumentação agrícola, dando base às necessidades que surgem com a aplicação de técnicas da AP (monitoramento do plantio, colheita, aplicação de insumos). Dentre os principais tipos de sensores e controladores utilizados na AP, o autor (OLIVEIRA, 2009) destaca:

- Sensores da produtividade de grãos;
- Sensores de campo;
- Sensores das propriedades do solo;
- Sensores de cultivo;
- Sensores de adubo;

- Controladores de aplicação variável;
- Outros sensores e controladores óticos e mecânicos.

A maior parte desses dispositivos, surgem adaptados de tecnologias oriundas de outras áreas da engenharia, sensores (remoto, proximidade, vazão) e controladores, além de comumente utilizarem elementos da mecatrônica, posicionamento geográfico e eletrônica para fins de proporcionar um tratamento dinâmico, isto é, em tempo real, do sistema produtivo. Os dispositivos são desenvolvidos para que o produtor consiga equipar veículos e aparatos agrícolas, dando suporte às complexidades que surgem com as novas práticas agrícolas.

Os principais componentes do sistema da AP, devem trabalhar com medidas e compreensão da variabilidade, no entanto, é na fase posterior, quando o sistema deve usar as informações obtidas para manejar a variabilidade, em que busca-se ferramentas eficientes para efetuar a aplicação de insumos (fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas, etc.).

## 2.5 Medidores de vazão

A vazão pode ser definida como sendo uma quantidade volumétrica ou mássica de um determinado fluxo (inclui os líquidos, os gases e os sólidos) que escoam através de um canal por unidade de tempo (FOX, 2011).

$$\text{Vazão volumétrica: } Q_V = \frac{V}{t} \quad (1)$$

$$\text{Vazão mássica: } Q_m = \frac{m}{t} \quad (2)$$

Onde:

V = Volume

m = Massa

t = Tempo

As unidades de vazão volumétricas mais utilizadas são:  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{l}/\text{h}$ ,  $\text{l}/\text{min}$ , GPM (galão por minuto) e as unidades de vazão mássicas mais utilizadas são:  $\text{kg}/\text{s}$ ,  $\text{kg}/\text{h}$ ,  $\text{T}/\text{h}$  e  $\text{Lb}/\text{h}$ .

Nos processos industriais, a vazão é a terceira grandeza mais medida e o uso de medidores de vazão para quantificar uma taxa de fluxo é uma prática bem antiga. Segundo (DELMÉE, 1995), os primeiros vestígios do uso de medidores de vazão, baseados no princípio da diferença de pressão, surgiram na civilização egípcia e eram aplicados à agricultura.

Após grandes contribuições, como no século XVIII, com Daniel Bernoulli que foi o responsável por desenvolver a “Equação de Bernoulli”, uma das principais leis do movimento de fluidos, que então, começaram a surgir os primeiros aparelhos destinados a medição de vazão de água.

Os medidores de vazão são fundamentais nos processos industriais, pois, são utilizados para o controle do processo e para efetuar a medição da quantidade de fluxo de líquidos, gases e até sólidos granulados, é uma prática viável tanto estrategicamente quanto economicamente, uma vez que se torna uma ferramenta de análise para a produtividade, garantia de qualidade, garantia de rendimento e etc.

A escolha de um medidor de vazão, é algo complexo devido à grande quantidade de possibilidades de medição presentes hoje, além das características particulares de cada uma. Dentre fatores que são levados em conta ao escolher um medidor, destaca-se: A exatidão desejada para a medição, o espaço físico disponível, o conhecimento do tipo de material que irá ter seu fluxo medido e o por fim, o custo (RIBEIRO, 1999).

### **2.5.1 Medidor de vazão eletromagnético**

Os medidores de vazão magnéticos, também conhecidos como eletromagnéticos, tem como princípio de funcionamento a Lei de Faraday, ou seja, segundo (BEGA et al; 2011), quando um condutor móvel se desloca num campo magnético, surge em suas extremidades uma força eletromotriz proporcional à intensidade do campo, ao comprimento e a velocidade de deslocamento. A força eletromotriz está vinculada a vazão através da intensidade do campo magnético dado por  $\text{Wb}/\text{m}^2$ , o diâmetro em metros e a velocidade em  $\text{m}/\text{s}$ . Logo podemos relacionar a força eletromotriz com a vazão:

$$U = KBVD \quad (3)$$

Onde:

K = Constante do instrumento

B = Intensidade do campo magnético

V = Velocidade média do fluxo

D = Diâmetro

U = Força eletromotriz induzida

A Lei de Faraday define que se uma bobina de N espiras estiver situada em uma região que o fluxo magnético é variável, a tensão induzida na bobina é dada pelo número de espiras multiplicado pela derivada de  $\phi$  (fluxo) pelo tempo. Para que haja variação do fluxo, a bobina precisa estar em movimento onde o campo não é uniforme (BALBINOT & BRUSAMERELLO, 2011).

$$V_{induzida} = N \frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

De acordo com os autores, o fluxo magnético  $\phi$  é um conjunto de linhas de fluxo que surgem do polo sul até o polo norte de um ímã. A densidade de fluxo magnético é dada pelo número de linhas de campo magnético pela área, e é proporcional à permeabilidade magnética no interior da bobina e o campo magnético por sua vez, é gerado normalmente por bobinas excitadas com uma corrente alternada.

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (5)$$

Onde:

B = Densidade de fluxo magnético

$\Phi$  = Fluxo magnético

A = Área em metros quadrados

Desta forma, é criada uma cortina de campo magnético, ao liberar um objeto que irá passar pelo campo produzido, podemos medir qual é derivada do fluxo pelo tempo  $d(\varphi)/dt$  quando isso acontece. Há certa dificuldade em se medir campo magnético, então é possível observar que o fluxo magnético induz uma diferença de potencial quando é cortado por um condutor metálico. Após, haverá como resultado uma força eletromotriz entre os dois terminais e é possível então calcular a diferença de potencial.

Para que os medidores eletromagnéticos possam ser indicados em alguma aplicação, basta que o material que irá escoar possua uma condutividade elétrica mínima admitida, dependendo de sua pressão, temperatura e velocidade de escoamento na tubulação do processo, dessa forma, a vazão desse material poderá ser medida precisamente, conforme a necessidade do usuário.

Tais medidores são extremamente populares entre os fabricantes de instrumentos, pois podem atender a um número gigantesco de aplicações industriais. Destacam-se, por exemplo, os medidores de vazão magnéticos de empresas como *Endress+Hauser* e *Yokogawa*, ambas bastante conhecidas do mercado.

### **2.5.2 Medidor de vazão por fotodetecção**

Um fotodetector é um sensor que gera um sinal elétrico dependente da luz ou outra radiação eletromagnética que receba. Diversos são os dispositivos que trabalham no princípio da fotodetecção, alguns que podem ser citados são: os fotodiodos, os fototransistores e os fotoresistores (SOUZA; PEREIRA).

Quando se trabalha com o princípio da fotodetecção, os dispositivos são sensíveis a luz, nos sensores fotoresistivos, por exemplo, sua resistência varia em função da luz que incide sob sua superfície, quanto maior a intensidade da luz menor será sua resistência e quanto menos luz incidir, maior será sua resistência (SOUZA; PEREIRA).

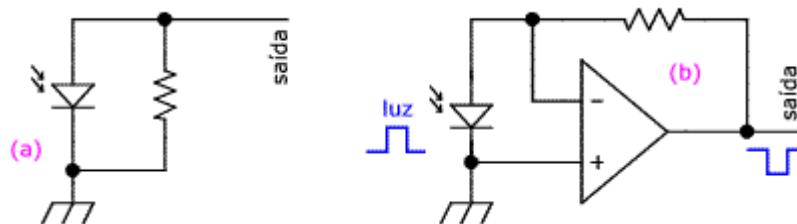
Encontramos sensores fotoelétricos numa infinidade de aplicações, indo desde sistemas de segurança, controle, máquinas industriais, equipamento médico e eletrônica embarcada. Existem hoje diversos tipos de sensores fotoelétricos que, pelas suas características se destinam a aplicações diferentes. Um tipo importante de sensor, encontrado em aplicações em que se exige alta velocidade e sensibilidade é o foto-diodo.



Os foto-diodos podem ser usados de duas principais maneiras, tanto no modo foto-condutivo como no modo foto-voltaico. Quando luz incide numa junção semicondutora, portadores de carga são liberados. Nessas condições temos a manifestação de dois fenômenos que podem ser utilizados na prática. Um deles é que a resistência no sentido inverso da junção iluminada diminui e o outro é que aparece uma tensão no dispositivo. Se o sensor aproveitar a variação da resistência inversa com a luz no modo de operação, dizemos que ele opera no modo foto-condutivo. Se ele aproveitar a tensão gerada com a luz, dizemos que ele opera no modo foto-voltaico (SOUZA, Uilian; PEREIRA, Thiago).

A figura 2 (a) mostra a ligação básica de um fotodiodo operando no modo fotovoltaico. Quando a tensão gerada pela luminosidade é muito baixa, é comum o uso de um amplificador operacional como visto na figura 2 (b), para elevar o valor de tensão.

**Figura 2: Fotodiodo operando no modo fotovoltaico**



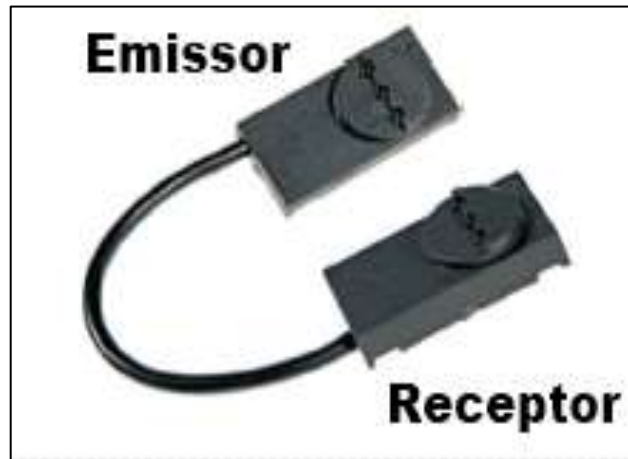
**Fonte: MSPC – Informações Técnicas.**

Devido às suas diversas vantagens, como por exemplo, rapidez de resposta, boa estabilidade e uma grande faixa dinâmica de operação, esse tipo de aplicação se tornou popular e pode ser encontrada em diversos circuitos de monitores de plantio existentes no mercado, ressalta-se por exemplo, as empresas: Agral® (Monitor de plantio Agvert AG800), Agrosystem® (Monitor de plantio PM400) e Identech® (Monitor de plantio SMID).

A figura 3 mostra o sensor de adubo usado no sistema digital inteligente de monitoramento de adubo da empresa Agral, o Agvert AG800. Destaca-se aqui o uso do fotodiodo no modo fotovoltaico citado anteriormente, temos o emissor que é formado por um conjunto de 3 LEDs e o receptor. Por serem componentes comuns e pela simplicidade de uso dos fotodiodos, nota-se que uma grande parte dos produtos

dessa gama, utilizam essa forma de sensoriamento para seus módulos de sensores de adubo e/ou sementes.

**Figura 3: Sensor de adubo utilizado no monitor de plantio Agvert AG800 da empresa Agral.**



Fonte: Adaptada do manual de usuário do sistema digital inteligente de monitoramento de adubo Agvert.

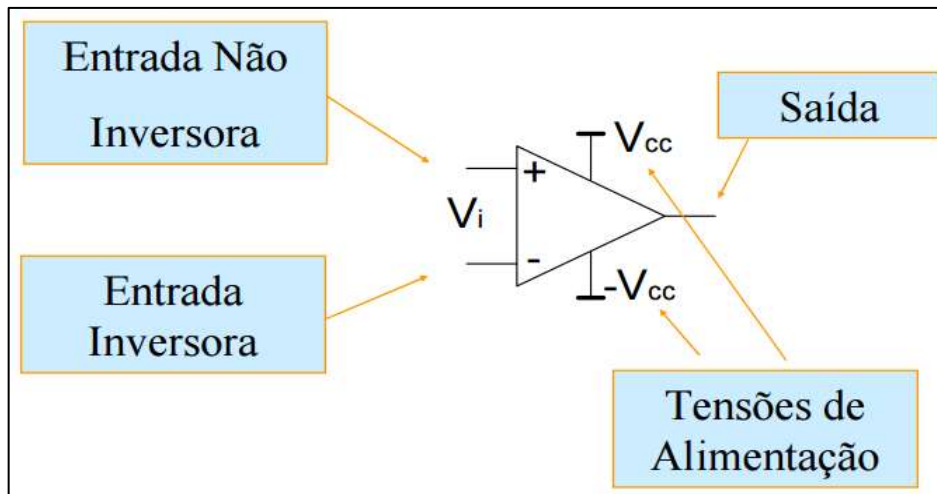
## 2.6 Amplificadores operacionais

O amplificador operacional, ou simplesmente Amp-Op, é um amplificador diferencial de corrente contínua linear, com elevado ganho de tensão e que usa uma rede de realimentação externa para controlar suas características de operação. Ele recebeu este nome por ter sido inicialmente utilizado para executar operações matemáticas em computação analógica (GRUITER, 1988).

Com o surgimento da tecnologia digital, o amplificador operacional se tornou um dos principais componentes utilizados para tratamento de sinais analógicos. Uma das aplicações mais comuns para o Amp-Op, é como conversor analógico-digital, servindo como um elo entre sinais analógicos externos (sensores) e a CPU.

Fisicamente, o Amp-Op é um circuito integrado utilizado como amplificador de tensões, ele possui duas entradas (inversora e não-inversora) e uma saída. Quando aplicamos o sinal na entrada não-inversora, o sinal é amplificado e aparece na saída com a mesma fase do sinal de entrada, por outro lado, quando aplicamos um sinal de na entrada inversora, ele aparece na saída com a fase invertida.

Figura 4: Amplificador operacional



Fonte: Miniportal – Amplificador operacional básico.

O Amp-Op pode ser aplicado em diversos tipos de circuitos, mas destaca-se seus três modos principais de atuação abaixo:

- Como amplificador
- Como comparador
- Como integrador
- Como oscilador

Como amplificador o circuito com Amp-Op tem um componente ligado entre a saída e a entrada negativa, isto caracteriza um circuito com realimentação negativa. A realimentação negativa diminui o ganho do circuito, que seria infinito caso tivesse somente o Amp-Op ideal, no entanto o circuito fica mais estável. Já como comparador o circuito não possui realimentação negativa e o Amp-Op trabalha com o seu ganho máximo. Em circuitos comparadores o Amp-Op se comporta como um circuito digital onde a saída pode assumir somente dois estados.

Como integrador, o Amp-Op realiza a operação de integração de um determinado sinal de entrada, ou seja, a somatória de pulsos próximos.

O Amp-Op na configuração de oscilador, é geralmente usado em aplicações onde se deseja gerar um sinal, que pode ter as mais diversas formas, retangular, senoidal, triangular e etc. Entretanto, o único sinal disponível é contínuo da própria alimentação, com isso há necessidade dos osciladores.

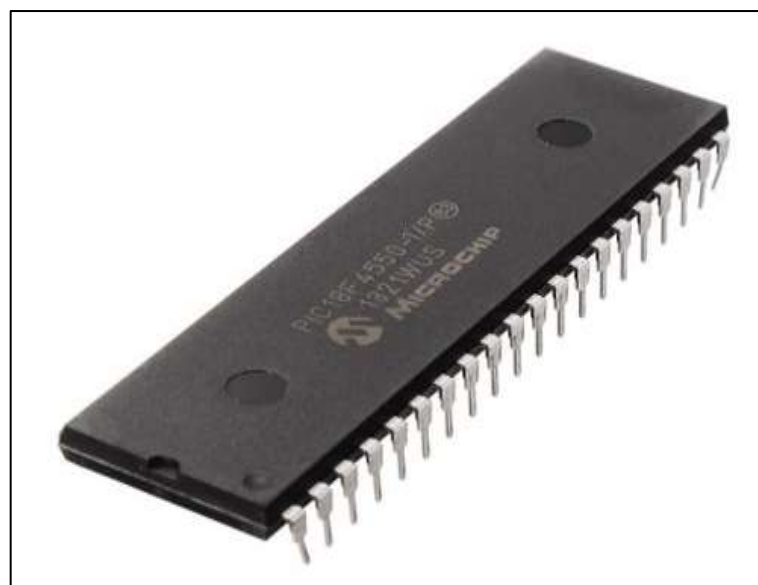
## 2.7 Microcontroladores

O microcontrolador é definido em (SOUZA, 2005) como um pequeno componente eletrônico, dotado de uma inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos. Afirma ainda que “em uma única pastilha de silício encapsulada, existem todos os componentes necessários ao controle de um processo”. Dessa forma, o microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada, saída paralela, timers, contadores, comunicação serial, PWM, conversores analógico-digitais entre outros.

A *Microchip Technology Inc.* é uma empresa precursora em microcontroladores. Os microcontroladores da série PIC se tornaram muito populares, graças a um bom plano de marketing, baseado na disseminação de uma ferramenta de auxílio à construção de programas – o MPLAB IDE. Os microcontroladores da série PIC possuem ainda uma linguagem *Assembly* menos complexa em relação àquelas disponibilizadas por outros fabricantes.

O PIC está disponível em uma ampla gama de modelos para melhor adaptar-se às exigências de projetos específicos, diferenciando-se pelo número de linhas de I/O, capacidade de memória e pelo conteúdo do dispositivo. Um dos modelos mais populares, por seu baixo custo, é o PIC18F4550.

**Figura 5: PIC18F4550**



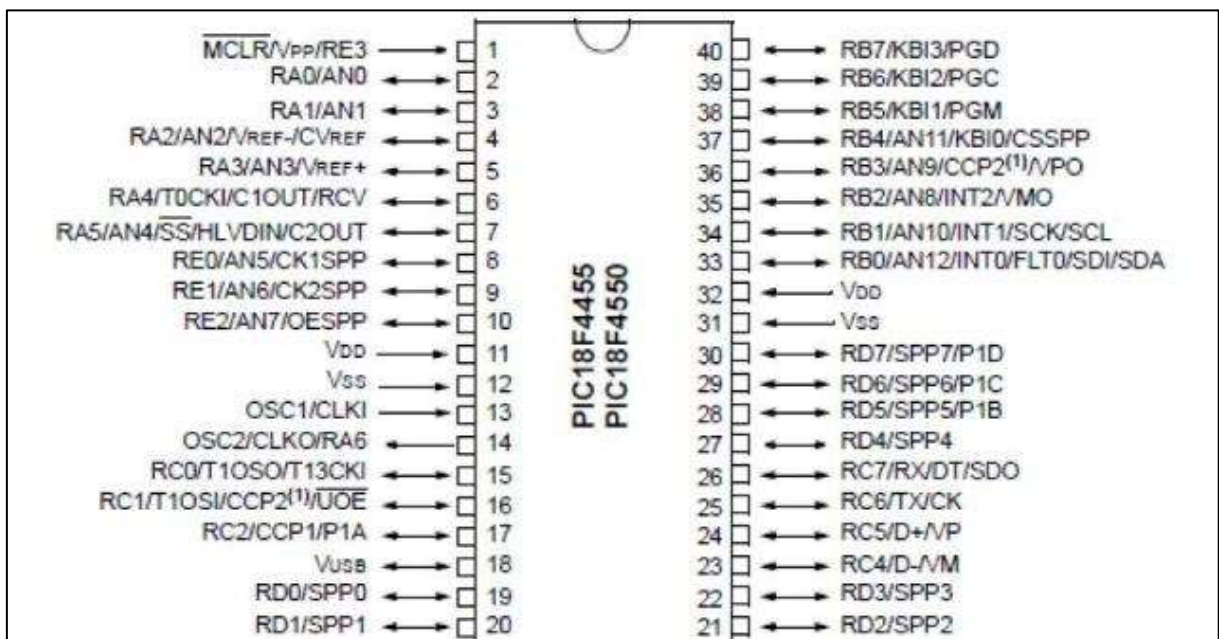
**Fonte: ACEPIC Tecnologia.**

O PIC18F4550 é um microcontrolador de 8 bits atual com arquitetura *Harvard* e conjunto de instruções tipo RISC, ele possui uma memória interna de 32 Kbytes para armazenamento do programa residente e 2048 bytes de memória RAM. Sua tensão de alimentação pode ser da ordem de 4 a 5,5 Volts e sua frequência de operação é de até 48MHz, a esta frequência ele é capaz de executar até 12 milhões de instruções por segundo. (MIYADAIRA, 2009).

Este modelo de Microcontrolador possui 40 pinos dos quais 35 podem ser configurados como portas I/O e diversos periféricos tais como memória EEPROM de 256 bytes, um módulo CCP e ECCP um módulo SPI e um módulo I2C. Possui também 13 conversores A/D com 10 bits de resolução cada e tempo de amostragem programável, 02 comparadores analógicos, uma comunicação EUSART, um timer de 8 bits e três timers de 16 bits cada, um módulo de detecção de tensão alta/baixa (HLVD) e um módulo USB 2.0 com a capacidade de operar nos modos low-speed (1,5Mbps) ou full-speed (12Mbps).

A figura 6 apresenta a pinagem do microcontrolador PIC18F4550:

Figura 6: Pinagem PIC18F4550



Fonte: Datasheet PIC18F4550.

## 2.8 Comunicação serial assíncrona

Serial é um protocolo muito comum (não confundir com Universal Serial Bus ou USB) para comunicação de dispositivos que vem como padrão em quase todo PC. A maioria inclui duas portas seriais baseadas em RS-232, que é um padrão definido pela "EIA" (*Electronic Industries Association*) para os dispositivos usados para comunicação serial. Serial é também um protocolo de comunicação comum que é utilizado por muitos dispositivos para instrumentação. Além disso, a comunicação serial pode ser utilizada para aquisição de dados em conjunto com um dispositivo remoto de amostragem (NATIONAL INSTRUMENTS).

O conceito de comunicação serial é simples. A porta serial envia e recebe bytes de informação um bit de cada vez. Embora esta seja mais lenta que a comunicação paralela, que permite a transmissão de um byte inteiro por vez, ela é mais simples.

Normalmente, a serial é usada para transmitir dados ASCII. A comunicação é completada usando 3 linhas de transmissão: (1) Terra, (2) Transmissão, e (3) Recepção. Visto que a serial é assíncrona, a porta está apta a transmitir dados em uma linha enquanto recebe dados em outra. Outras linhas estão disponíveis para handshaking, mas não são requeridas. As características importantes da serial são taxa de transmissão (baud rate), bits de dados (data bits), bits de parada (stop bits), e paridade (NATIONAL INSTRUMENTS).

## 2.9 Linguagem de programação C e o MPLAB

Para que os microcontroladores executem as tarefas desejadas é necessário que ele seja programado. Existem diversas linguagens de programação, as mais comuns em microcontroladores são o *assembly*, *basic* e C.

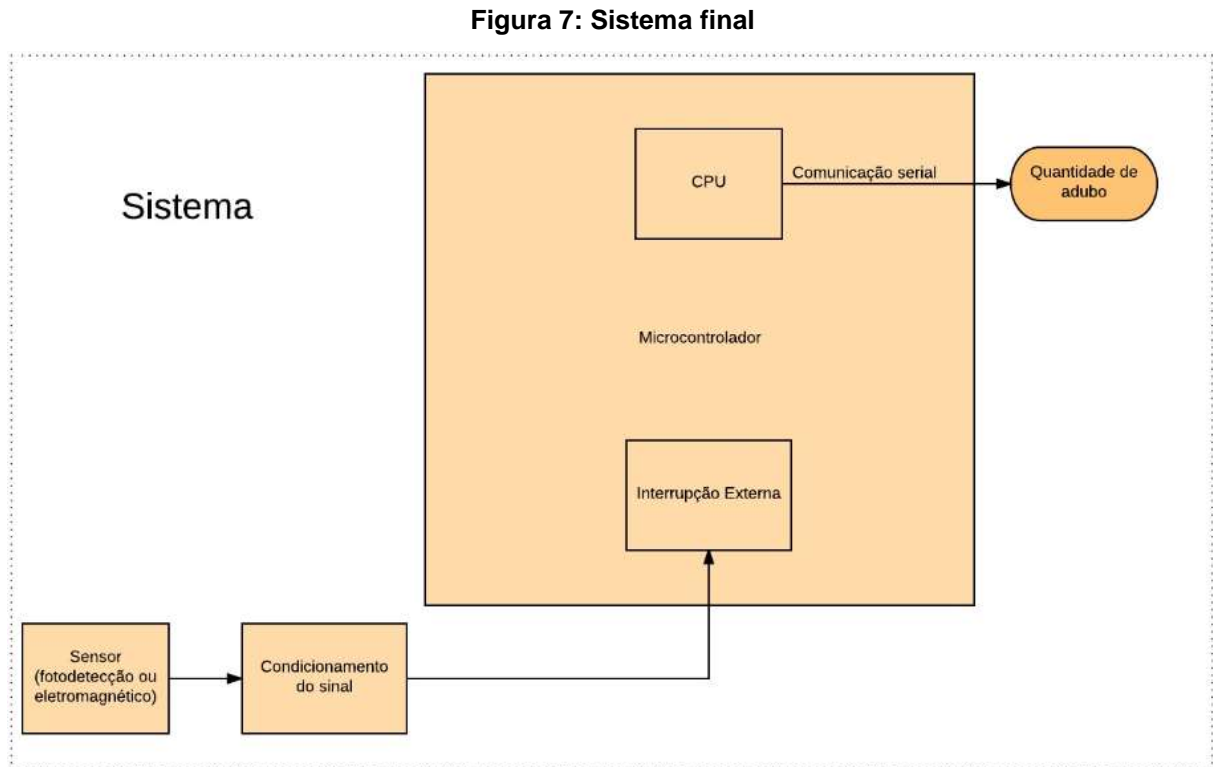
Segundo (HOVADICH et al; 2011), o C é uma linguagem de programação genérica desenvolvida em texto e é utilizada para criação de programas diversos e apesar de sua complexidade de programação vem se tornando popular devido a sua versatilidade. Nesta linguagem, para cada ação ou comando desejado existe um código textual específico, armazenado em alguma biblioteca.

Para que o programa fonte seja interpretado pelo microcontrolador é necessário que ele seja convertido para código de máquina e posteriormente gravado

em sua memória interna, o MPLAB é uma plataforma de desenvolvimento fornecida gratuitamente pela Microchip ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)), que tem como função gerar os códigos que poderão ser gravados no microcontrolador PIC. Esta plataforma integra em apenas um ambiente todo o processo de gerência do projeto, desde a edição do programa fonte, compilação e simulação até a gravação do Microcontrolador PIC (MARTINS, 2011).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo apresenta os passos seguidos para o desenvolvimento deste trabalho. A figura 7 ilustra a composição básica do sistema proposto.



Fonte: Autoria própria

Conforme se pode observar na figura 7, espera-se que ao fim das etapas, o medidor de vazão desenvolvido seja capaz de mensurar a vazão de fertilizantes sólidos (N, P e K), informando com exatidão, a quantidade em gramas de cada componente que foi depositado ao longo da área de trabalho. Essa informação vai permitir que a malha de controle do protótipo de aplicação de fertilizantes, seja fechada, uma vez que os dados de quantidade de vazão, serão comparados com dados da necessidade pontual do solo. Busca-se a menor diferença possível entre esses dois dados.

O diagrama apresentado na figura 8 detalha as etapas de desenvolvimento do trabalho.



**Figura 8: Etapas de desenvolvimento**



**Fonte: Autoria própria.**

O bloco 1 representa a etapa de escolha da técnica de sensoriamento que será implementada ao fim deste trabalho, testes serão realizados utilizando os dois princípios propostos (foto detecção e indução eletromagnética) e através dos resultados será definida a melhor alternativa.

O bloco 2 representa a etapa de tratamento do sinal, essa etapa é destinada a buscar-se uma boa comunicação entre sensor e o microcontrolador, garantindo que as informações de leitura do sensor cheguem ao microcontrolador da forma mais fiel possível, sem gerar discrepância nos dados, essas que podem prejudicar as análises de leitura dos grãos.

O bloco 3 representa a construção do *firmware*, é a etapa de desenvolvimento do processamento digital dos dados provenientes do medidor.

### **3.1 Testes e avaliação para medição da vazão**

Nessa etapa, foram realizados testes utilizando-se as duas possibilidades de sensoriamento propostas visando definir qual a melhor alternativa para a medição de vazão do fertilizante. A etapa foi dedicada estritamente para o entendimento do funcionamento e análise de viabilidade de ambas as técnicas.

#### **3.1.1 Testes de funcionamento com sensor fotodetector**

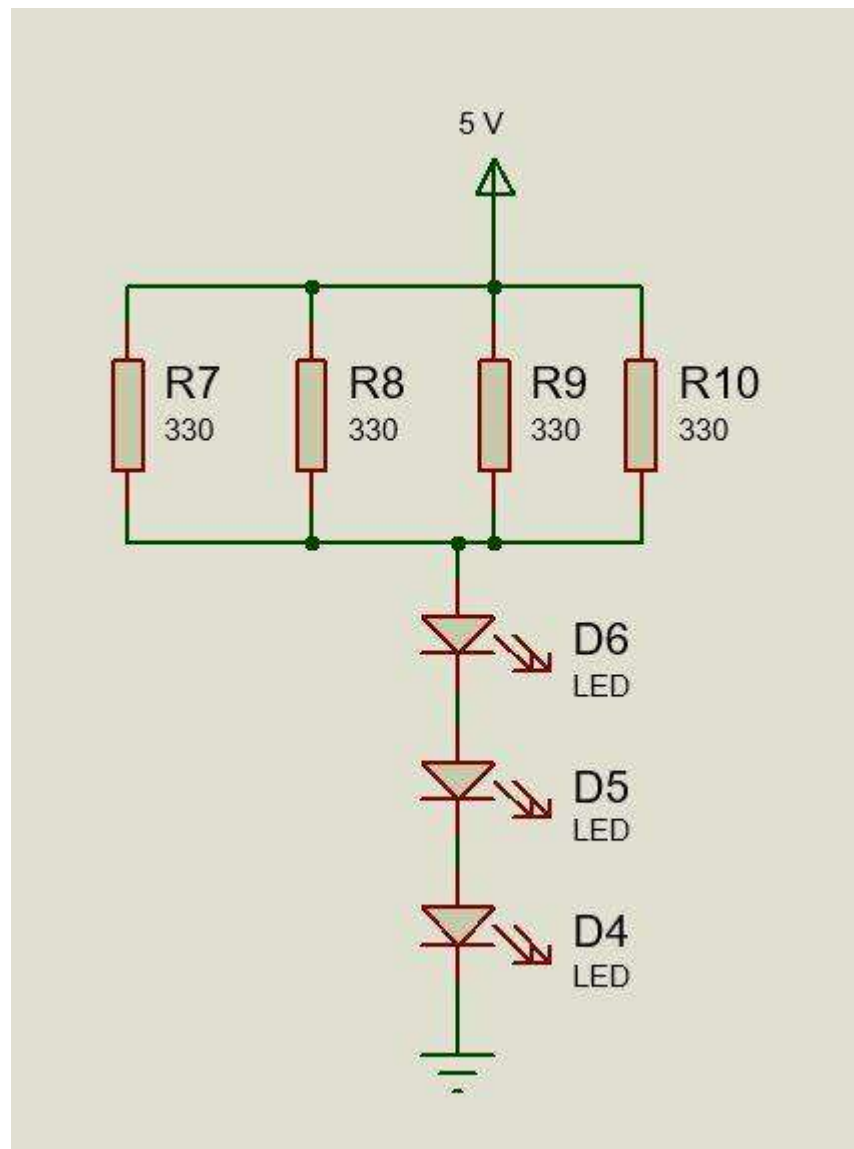
Para realização dos testes, utilizou-se um sensor que já existe no mercado e que tem o mesmo princípio de funcionamento pretendido nesse trabalho. Se trata de um sensor de vazão de sementes presente no dispositivo de gerenciador de plantio SMID produzido pela empresa Identech®, que monitora as linhas da plantadeira

durante o processo do plantio e informa o operador do trator em tempo real os acontecimentos em cada uma das linhas.

O monitor de plantio SMID, apresenta dentre suas diversas ferramentas, o chamado SMID fluxo, um sensor específico para o monitoramento do fluxo de vazão de sementes. O sensor de fluxo do SMID trabalha com o princípio de fotodetecção, utilizando um fotodiodo infravermelho. O sensor é exatamente o mesmo utilizado pela empresa Agral®, já apresentado na figura 3.

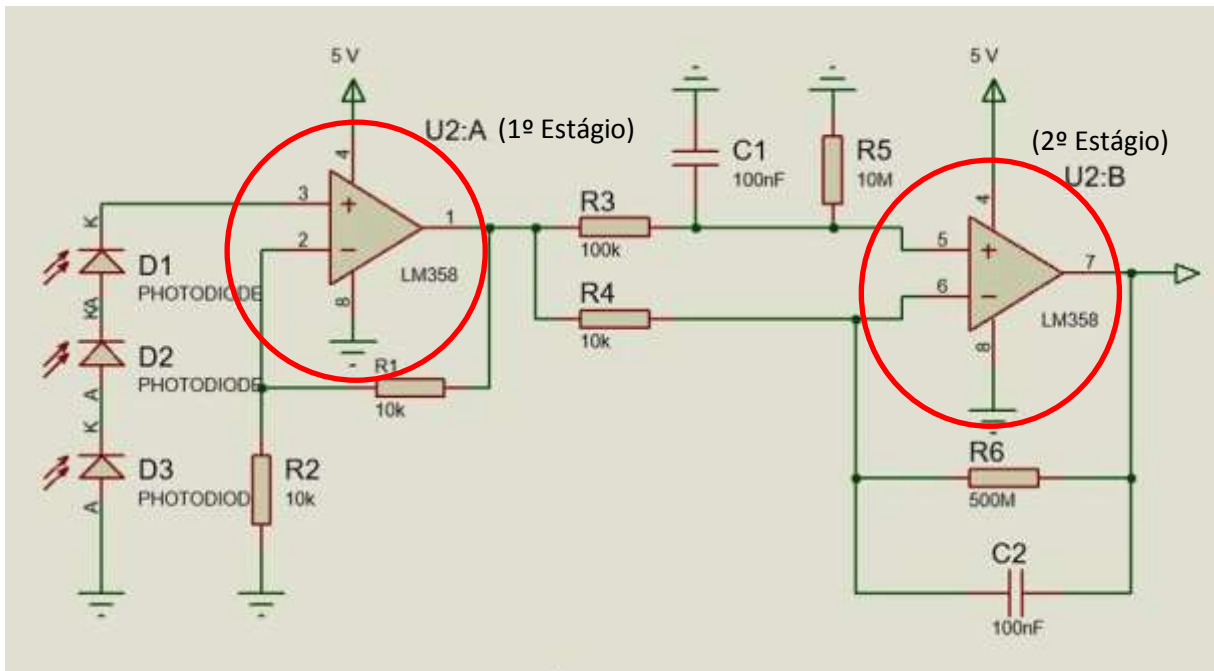
As figuras 9 e 10 mostram respectivamente, o circuito esquemático do emissor e do receptor do sensor em questão.

**Figura 9: Circuito esquemático do emissor**



**Fonte: Autoria própria.**

Figura 10: Circuito esquemático do receptor



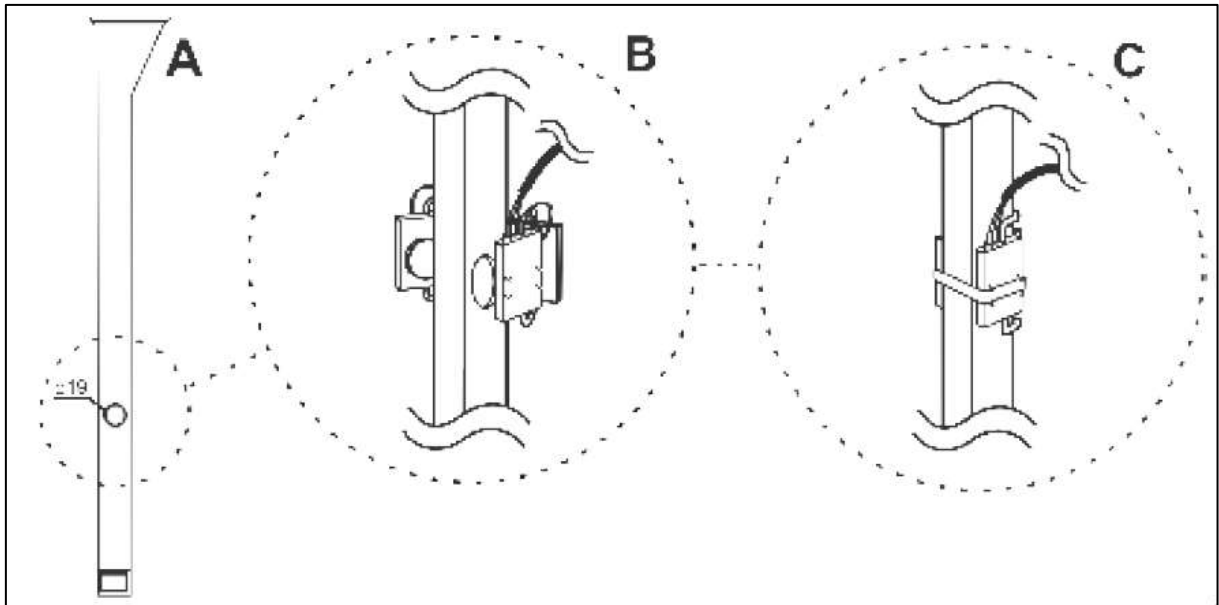
Fonte: Autoria própria.

A figura 10 permite entender o funcionamento interno do sensor. O circuito do receptor é formado basicamente por três fotodiodos trabalhando como células fotovoltaicas, ou seja, recebendo a incidência de luz e gerando uma tensão e também dois Amp-Ops. O primeiro Amp-Op (U2:A) funciona como amplificador (1º estágio), pois o sinal de saída do sensor apresenta um nível de tensão muito baixo e ruidoso, logo, esse Amp-Op trata o sinal para que a posterior comunicação com o microcontrolador ocorra de forma mais eficiente. O segundo Amp-Op (U2:B), por sua vez, opera no modo integrador (2º estágio), “juntando” pulsos que estivessem muito próximos (pulso gerado pela semente e ruídos) em um único pulso.

Foram disponibilizados pela própria empresa Identech®, dois conjuntos de condutor-emissor-sensor para realização dos testes, com isso, utilizamos um material PET em grânulos para simular a vazão do fertilizante tipo NPK. Ressalta-se que os três componentes, N, P e K são extremamente similares em tamanho e forma, possibilitando que a simulação seja feita de forma bem realista utilizando o mesmo PET para representar todos os três componentes.

A figura 11 mostra o esquema montado para os testes, um pequeno tubo de plástico é usado para o escoamento do adubo, fez-se um furo vazado no tubo para o encaixe dos sensores.

**Figura 11: Encaixe do sensor no tubo de escoamento**



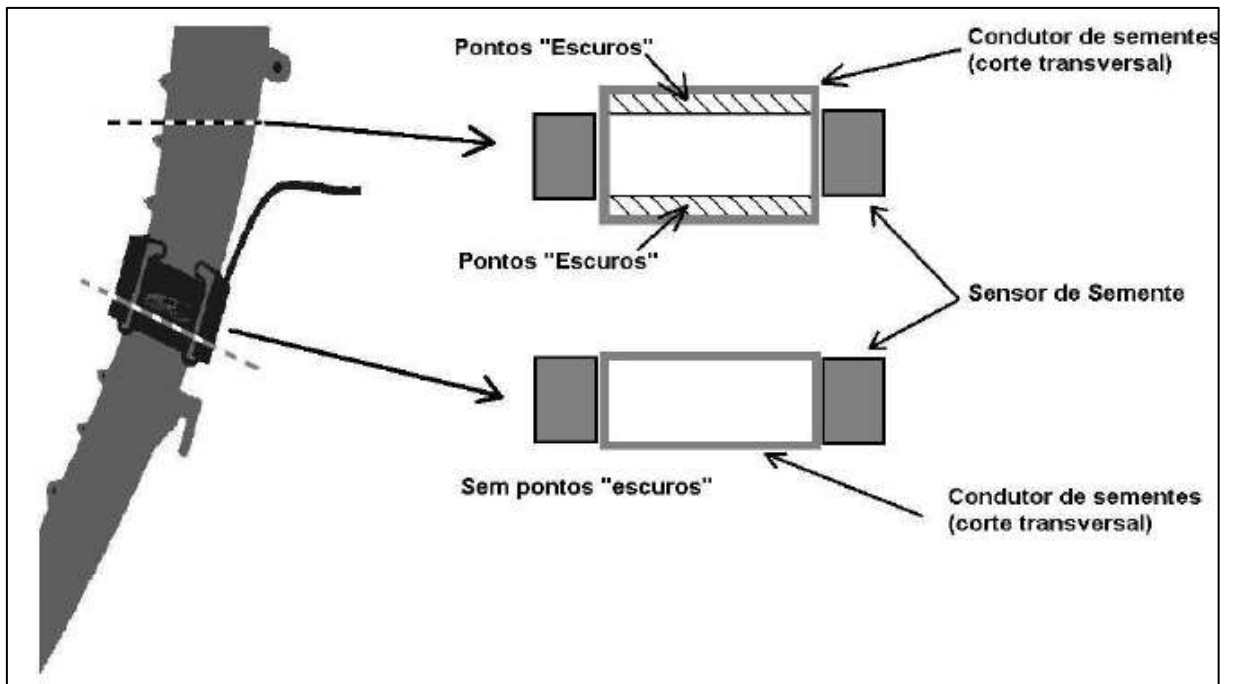
**Fonte: Manual do produto SMID.**

A parte A, mostra o tubo com o furo vazado no qual o sensor será encaixado. Na B, é possível ver o encaixe do sensor sendo efetuado e na C temos o sistema para vazão de sementes montado.

Durante essa montagem, é importante estudar qual o melhor encaixe para a instalação do sensor, que precisa ser posicionado de tal forma que não deixe pontos “escuros”, ou seja, pontos que estejam fora do raio de alcance do sensor, a lacuna entre o emissor e o receptor.

A figura 12 apresenta dois encaixes de um mesmo sensor, no primeiro, nota-se que o alcance do sensor é menor do que a área de escoamento do tubo, desta forma, deixando pontos “escuros”, regiões em que um grânulo de adubo pode escoar sem ser capturado pelo sensor, prejudicando a medição da vazão. No segundo encaixe, o sensor se adequa perfeitamente a área de escoamento do tubo, fazendo com que toda a área esteja dentro do alcance do sensor, impossibilitando que grânulos se percam na contagem por não terem sido capturados pelo sensor.

**Figura 12: Posicionamento do sensor evitando pontos “escuros”**



Fonte: Manual do produto SMID.

A figura 13 mostra o tubo de escoamento real utilizado.

**Figura 13: Tubo de escoamento**



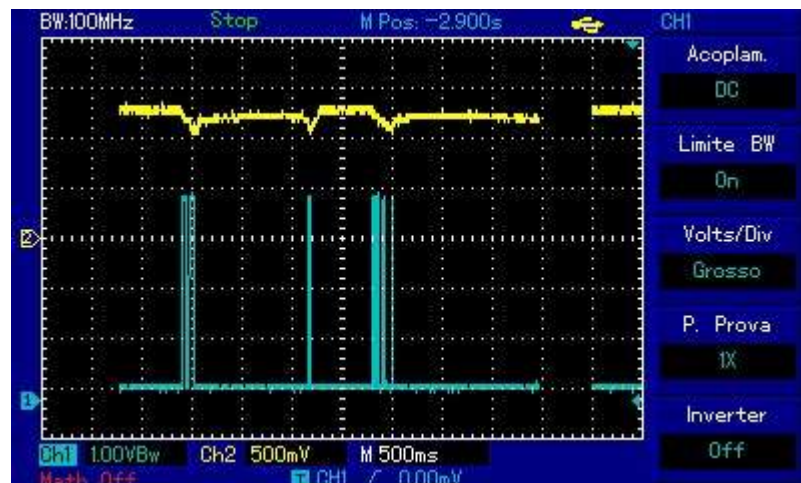
Fonte: Autoria própria.

Com o sistema de vazão montado, foi utilizado um kit didático em microcontroladores PIC18F XM118 da Exsto como banco de ensaios e um osciloscópio para a análise dos dados.

Para a realização, no kit de desenvolvimento, foi embarcado um *firmware* prévio, que conta através de uma interrupção externa no pino RB1 as bordas de saída do circuito do sensor e mostra esse número no display.

Os ensaios foram feitos da seguinte maneira, depositou-se no tubo de escoamento, uma quantidade de grânulos e observou-se no osciloscópio o comportamento da saída do circuito receptor e se todos os grânulos geravam um sinal, indicando assim que haviam sido contabilizados.

**Figura 14: Teste do sensor fotodetector**



**Fonte: Autoria própria.**

A figura 14 mostra o comportamento do sensor em um ensaio onde foram depositados 10 grânulos no tubo de escoamento. O canal 1, na cor azul, representa o sinal de saída no integrador (pino 7, visto no esquemático da figura 10), enquanto o canal 2 em amarelo, representa o sinal de saída diretamente no sensor. Como o objetivo desta etapa é apenas familiarizar-se com o funcionamento do sensor e explorar as possibilidades de sensoriamento, o foco da análise foi apenas na capacidade do sensor de identificar a passagem de grânulos, quesito em que, num primeiro momento, o sensor por fotodetecção se mostrou uma opção viável, pelo simples fato de ao menos captar a passagem dos grânulos. Pode-se concluir isso visualmente, ao observar que os pulsos do primeiro estágio são refletidos no segundo

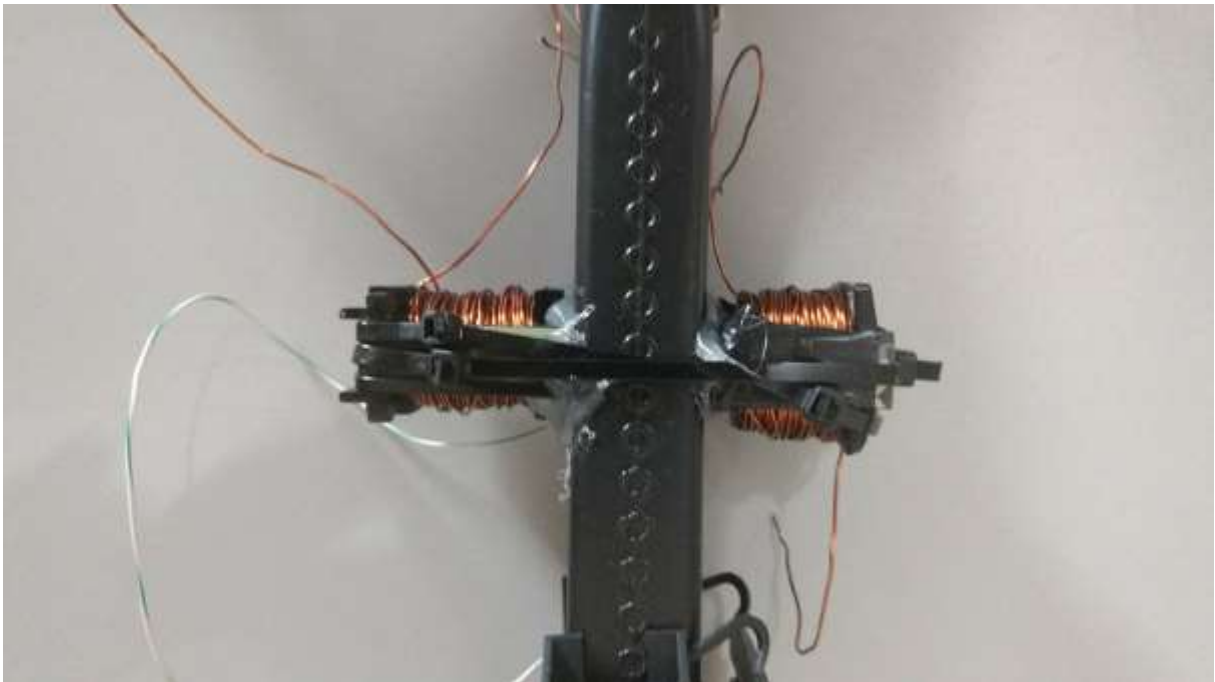
estágio, tais pulsos têm imperfeições e perdas de um estágio para outro, mas são suficientes para garantir que a detecção da passagem de grânulos está ocorrendo.

### 3.1.2 Testes de funcionamento com sensor eletromagnético

Para os testes de funcionamento usando o princípio eletromagnético, o primeiro passo foi construir as duas bobinas, elementos principais para a realização dos ensaios.

A figura 15 mostra as bobinas que foram enroladas manualmente.

**Figura 15: Enrolamento das bobinas**



**Fonte: Autoria própria.**

Com as bobinas construídas, utilizou-se uma fonte de alimentação para excitação das bobinas, tensão vinda direto da rede, com um trafo de 127V para 5V e um osciloscópio para análise do sinal. Assim como nos testes com o sensor fotodetector, acoplou-se as bobinas em um tubo de escoamento, então, excitou-se uma das bobinas com a tensão da alimentação e ela por sua vez, induziu a outra.

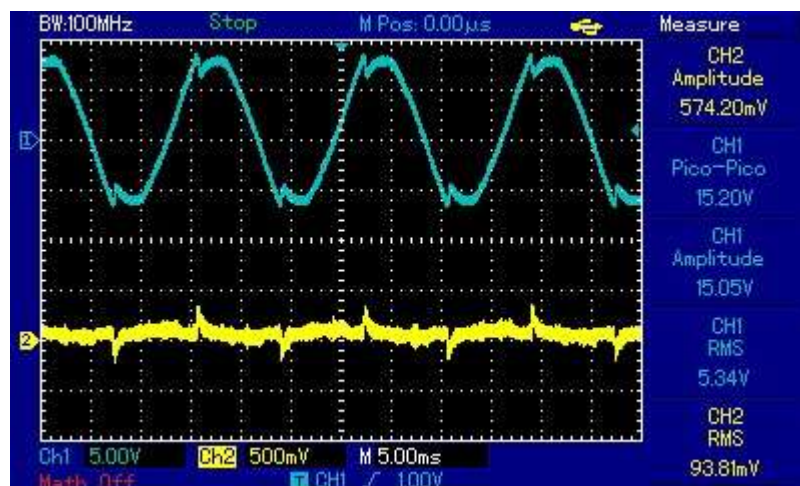
O teste de interferência do campo magnético realizado, foi feito então, utilizando as duas bobinas, a do enrolamento primário com 29 mH e a secundária com 32 mH. O enrolamento primário, foi alimentado com uma tensão de 5,5V e 1,31A.

Para esses testes, foram usados grânulos do adubo real, NPK, uma vez que o PET usado para simulações anteriores, é um composto plástico, portanto, não condutor. Para que seja possível detectar a passagem de um elemento entre as bobinas, é necessário que esse elemento seja um material condutor, pois a bobina faz parte de um circuito oscilador, que em condição normal (desacionada), gera um sinal senoidal. Quando um metal se aproxima do campo magnético formado entre as bobinas, este por correntes de superfície, absorve a energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. Esta diminuição do valor original aciona o estágio de saída, mudando seu valor de tensão.

Ao induzir o campo magnético, a bobina secundária capta 574,2mV de amplitude, como pode ser observado na figura 16.

O sistema em estado geral, sem nada passando por entre as bobinas, apresenta uma queda de tensão da bobina secundária em relação a primária, enquanto a bobina primária apresenta tensão de 5,5V, a bobina secundária é induzida com apenas 93,8mV, essa queda de tensão, se deve pelo chamado entreferro, que é o espaço existente entre a bobina indutora e a bobina induzida, além do número de espiras. O entreferro é de 3,6 cm e causa uma queda de tensão bastante expressiva mesmo sem a passagem de grânulos, apenas pelo afastamento das bobinas.

**Figura 16: Sistema das bobinas no estado geral**



Fonte: Autoria própria.

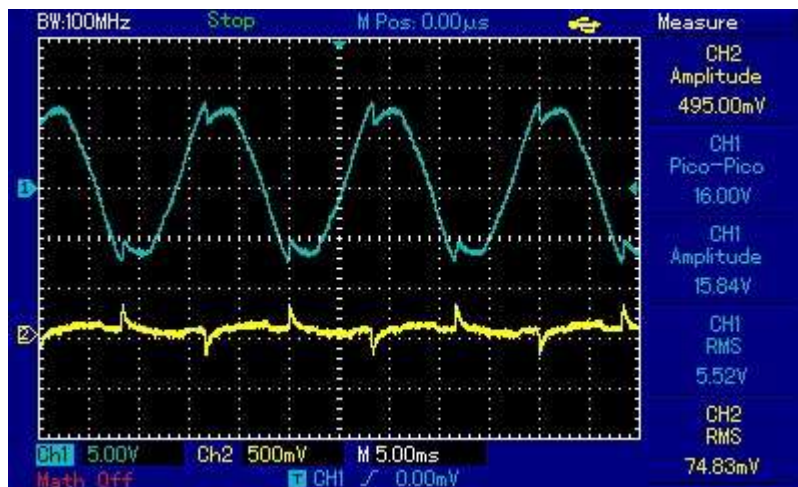
Depositou-se grânulos no tubo de escoamento e no osciloscópio foi observado que a tensão na bobina induzida, não se altera, até mesmo quando se deposita apenas grânulos de potássio, o melhor condutor dentre os três componentes. Como esperado, ao depositar um material metálico, a detecção ocorre perfeitamente,



testou-se isso ao depositar parafusos no tubo de escoamento, o resultado pode ser observado nas figuras 17 e 18.

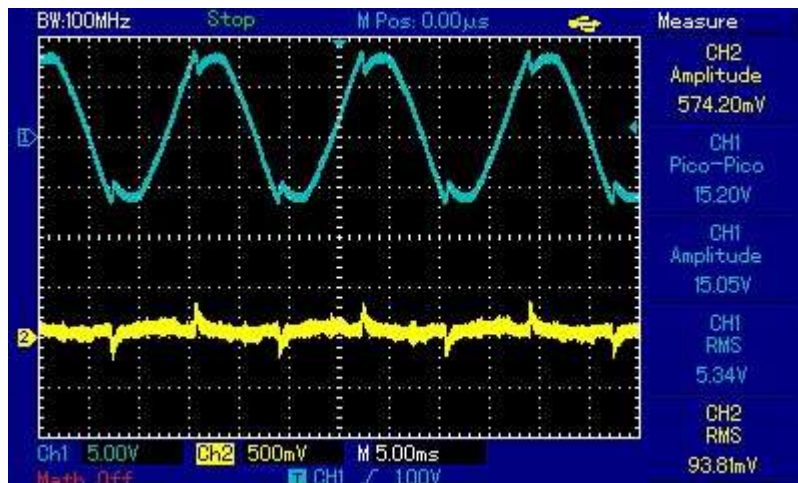
Na figura 17 nota-se que ocorre uma queda na amplitude do canal 2, de 574,2mV das bobinas no estado normal, para 495,0mV com a passagem do objeto metálico. Já na figura 18, nota-se que não ocorre nenhuma mudança notável com a passagem dos grânulos.

**Figura 17: Comportamento das bobinas – Parafuso**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 18: Comportamento das bobinas – Grânulos de fertilizante**



Fonte: Autoria própria.

O escoamento dos grânulos por entre a cortina de campo magnético que se cria entre as bobinas, não é suficiente para gerar uma queda de tensão perceptível alterando a amplitude da onda, mesmo com os componentes do fertilizante tendo capacidade condutiva, tornando inviável o uso dessa técnica para a medição da vazão do fertilizante.

### **3.1.3 Critérios para a escolha do medidor de vazão**

Após realizados os testes com as duas propostas de sensoriamento, optou-se por seguir o desenvolvimento do sensor utilizando a técnica de fotodeteção.

Os testes realizados utilizando-se o sensor da Identech® mostraram que o uso do princípio da fotodeteção para o sensoriamento é viável, uma vez que a captação dos grânulos ocorre.

Já para os testes realizados com o princípio do eletromagnetismo, os resultados não se mostraram positivos, uma vez que os grânulos nem sequer foram detectados durante o escoamento.

## **3.2 Tratamento do sinal para fotodeteção**

Com a técnica de sensoriamento definida, foi realizada uma série de testes, com o objetivo de investigar as anomalias apresentadas pelo sensor na contagem dos grânulos.

Tabela 1: Resultados dos testes de leitura do sensor

Quantidade de grânulos depositados no tubo de escoamento	Quantidade de grânulos captados pelo sensor
3	3
5	6
5	5
5	5
9	9
10	12
2	1
100	69
4	5
6	8
6	4
10	12

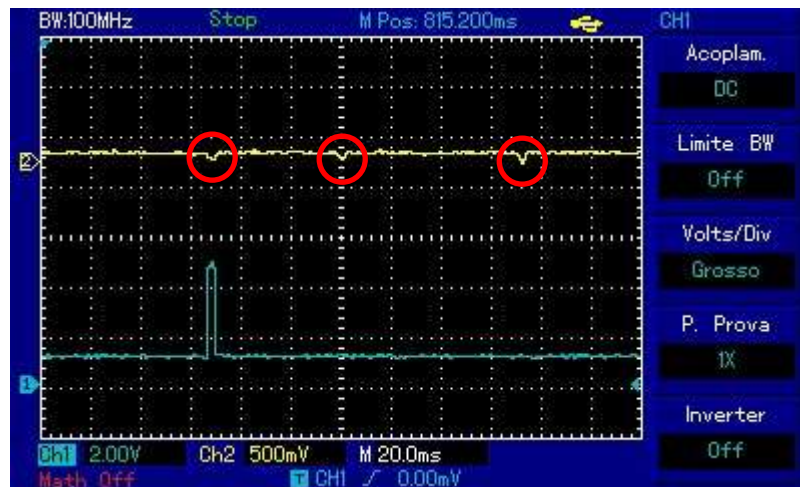
Fonte: Autoria própria.

A tabela 1 apresenta uma seleção de alguns dos resultados obtidos em determinados testes. A primeira coluna apresenta o número de grânulos que foram depositados no tubo de escoamento enquanto a segunda coluna mostra o número de grânulos que foram captados pelo sensor e exibidos através do kit de desenvolvimento, num display.

Observou-se então, que a maioria dos ensaios apresentou uma discrepância na leitura do sensor quando comparado ao valor real de grânulos depositados. Essa anomalia na captura dos grânulos se deve primeiramente ao fato de que, o sensor utilizado para os testes foi construído e programado para realizar a medição da vazão de sementes. Ao tentar utilizar o mesmo sensor para realizar a medição de vazão de adubo, que é formado por grânulos bem menores, surgem anomalias nas medições.

Essas situações são exemplificadas na figura 19. No osciloscópio, temos o canal 1, em azul, que representa o sinal de saída no integrador e o canal 2, em amarelo, que representa o sinal de saída diretamente no sensor.

**Figura 19: Anomalia na detecção do sensor**



**Fonte: Autoria própria.**

Para um teste em que três grânulos foram depositados no tubo de escoamento, é possível notar na imagem, que o sinal de saída verificado diretamente no sensor apresenta três pequenos pulsos, representando cada um dos grânulos, enquanto que no sinal de saída verificado no integrador, apenas um pulso aparece como resposta. Essa discrepância indica uma falha, ou imprecisão, no circuito de tratamento de sinal do sensor que está sendo utilizado, neste caso, a falha ocorre na saída do integrador. O integrador tinha a finalidade de agrupar pulsos que estivessem muito próximos em um único pulso, porém quando o pulso gerado pelo grânulo era muito pequeno, este não era capaz de excitar o integrador e acabava sendo perdido.

Identificado o problema que causava imprecisão nas medidas, foi então montado um novo circuito de tratamento do sinal, adaptando-o conforme as necessidades de medição do adubo, uma precisão maior e maiores níveis de tensão no momento da captação, já que os grânulos são pequenos e seus pulsos de resposta, usando o circuito original, eram muito pequenos e em certos ensaios, indetectáveis.

### **3.2.1 Elaboração do novo circuito do sensor**

O Amp-Op (U2:B) que estava funcionando como integrador foi retirado do circuito e substituído no novo circuito por um Amp-Op LM358 sendo usado no modo comparador. O sinal lido diretamente na saída do sensor, apenas passando pelo estágio de amplificação do primeiro Amp-Op, apresenta uma resposta ruidosa e um pulso pequeno, o que prejudica a ação de captura. Decidiu-se então usar o Amp-Op

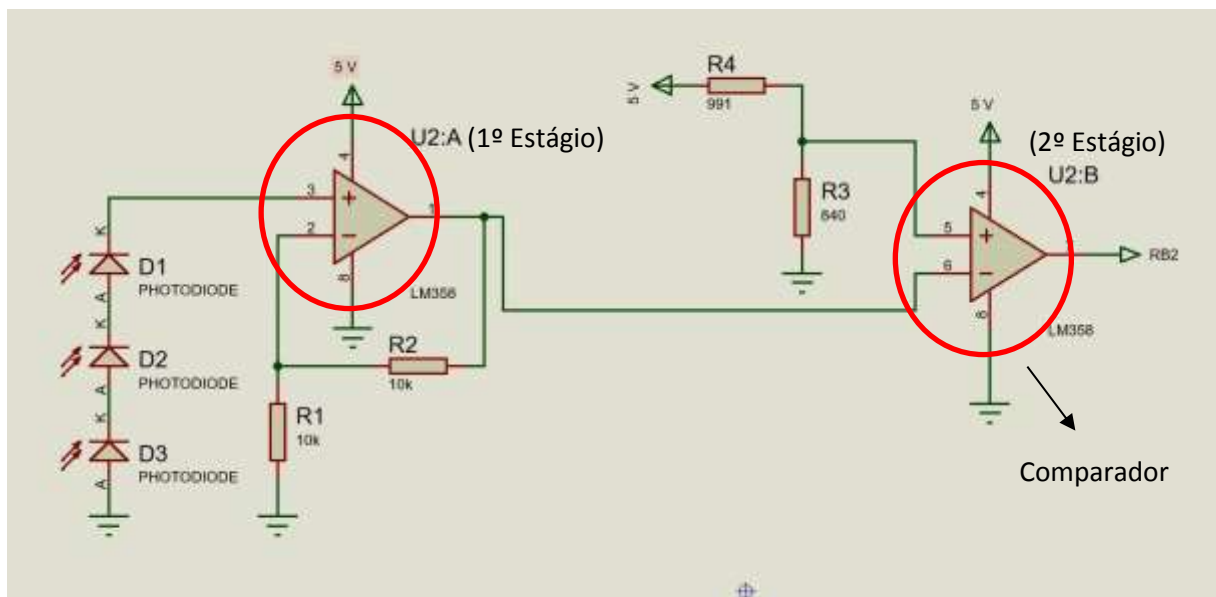
do segundo estágio no modo comparador, para elevar o nível de tensão dos pulsos emitidos pelo sensor, já que alguns pulsos, por serem muito pequenos, acabavam sendo perdidos, refletindo uma contagem defeituosa dos grânulos.

Além de aumentar o nível de tensão, aumentando a resolução das medições, o uso de um condicionador de sinal, melhora a relação sinal-ruído, garantindo uma medição eficaz.

A tensão de saída proveniente do primeiro estágio (U2:A), ou seja, do Amp-Op amplificador, deverá ser comparada com a tensão regulada no Amp-Op comparador, para que então um tratamento do sinal seja feito e ele possa ser transmitido para o microcontrolador sem que haja perdas na contagem, como ocorria com o uso do Amp-Op no modo integrador.

A figura 20, mostra o esquemático do novo circuito, com o Amp-Op no modo comparador que foi montado.

**Figura 20: Esquemático do novo circuito do sensor**



**Fonte: Autoria própria.**

O fotodiodo ao receber a emissão de luz, gera uma tensão de 1,142V no pino 3 do primeiro Amp-Op, usado como amplificador de ganho 2. A saída do Amp-Op amplificador, pino 1, tem 2,28 V, esse valor é enviado para o comparador no pino 6 e é então comparado com o valor de tensão do pino 5 que foi ajustado através de um divisor de tensão, de modo a criar a menor diferença possível entre os dois valores, já que se busca garantir que a menor das variações de tensão, caso de

grânulos que geram um pulso muito pequeno, seja detectada. Quando o sinal recebido no pino 6 do comparador, for menor que o sinal no pino 5, o comparador envia um pulso para o pino RB1 do micro.

O cálculo do divisor de tensão, para determinar a tensão de comparação do pino 5, foi feito da seguinte maneira:

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} * V_{in} \quad (6)$$

Onde:

$V_{in}$  (tensão de entrada) = 5V

$V_{out}$  (tensão de saída) = 2,3V

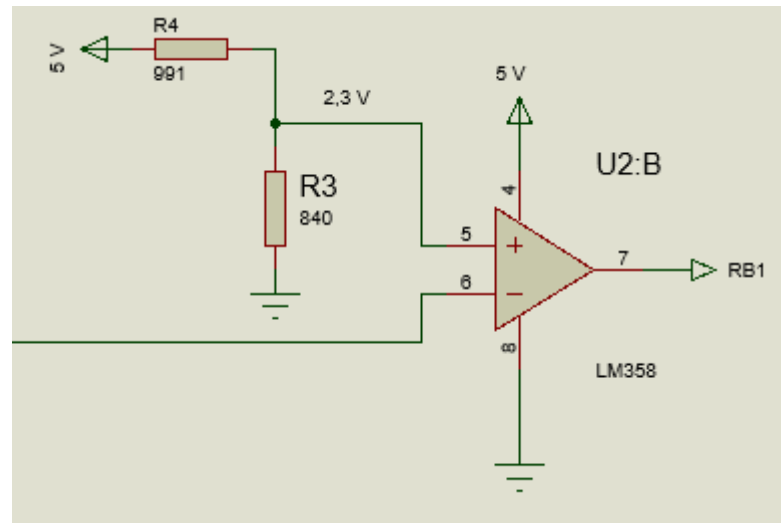
Efetuada os cálculos, temos que:

$R_4 = 991\Omega$  e  $R_3 = 840\Omega$

Com o comparador construído, o valor de tensão do primeiro estágio (pino 1) que é 2,3V é comparado com o valor de tensão que vem do divisor de tensão (pino 5), também 2,3V. Quando um grânulo passa pelo sensor, a tensão cai e o que sai do primeiro estágio é um valor de tensão um pouco abaixo de 2,3V, no segundo estágio esse valor passa pelo comparador, na comparação, como o valor recebido é menor do que 2,3V, a saída do segundo estágio é então elevada para 5V e isso acontece para todos os valores que chegam e são menores que a tensão de comparação.

A figura 21 apresenta o esquemático do Amp-Op comparador construído.

**Figura 21: Amp-Op comparador**

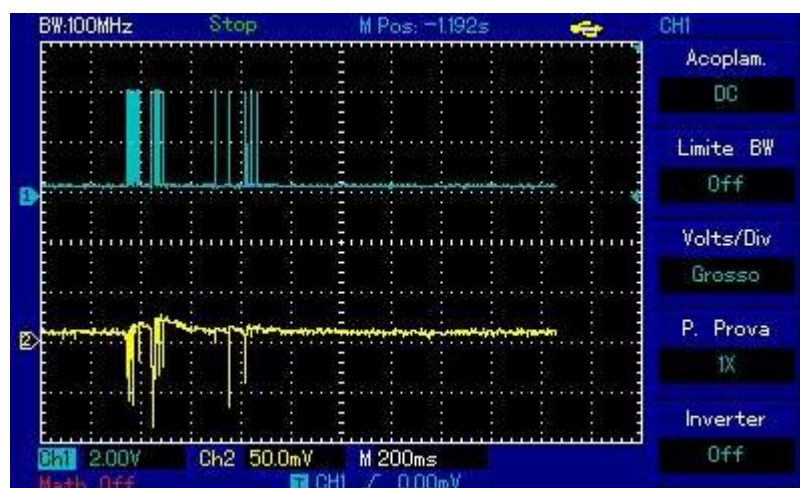


Fonte: Autoria própria.

Com o novo circuito do sensor montado, novos testes foram realizados para analisar se as medições ficaram mais precisas, usando o Amp-Op no modo comparador.

A figura 22 mostra a detecção do sensor com o novo circuito, a anomalia que existia antes e prejudicava as medidas, foi solucionada. Nesta figura, é possível visualizar que o sinal medido direto no sensor (em amarelo) tem ocorrências bem semelhantes ao sinal medido na saída do circuito comparador (em azul).

**Figura 22: Leitura do sensor com o Amp-Op comparador**



Fonte: Autoria própria.

Após validação do funcionamento do novo circuito do sensor, pode-se então duplicar essa estratégia, pois existem disponíveis dois conjuntos de condutor-

emissor-sensor. Portanto, construiu-se um novo circuito também para o segundo sensor.

Leva-se em conta ainda, outros problemas de captura, podemos ressaltar alguns, como por exemplo, um grânulo que está escoando e se choca com as paredes do tubo de escoamento, pode atravessar o campo de atuação do sensor colidindo com as laterais do tubo e ser contado mais de uma vez. Da mesma maneira, dois grânulos podem passar juntos pelo sensor e serem contados como um grânulo só, essas situações precisam ser tratadas no *firmware*.

Com os empecilhos de *hardware* resolvidos, prosseguiu-se para o desenvolvimento do *firmware*.

### **3.3 Desenvolvimento do *firmware***

Nesta etapa, foi desenvolvido o código de processamento digital do sensor, através do *software* MPLAB®, que será implementado por um microcontrolador PIC18F4550, modelo escolhido com base em seu baixo custo e disponibilidade. O código será responsável pela contagem de sementes e posterior disponibilidade desta informação.

Foi aproveitado a estrutura do *firmware* prévio, citado anteriormente, que havia sido usado para os primeiros testes. Aproveitou-se principalmente as etapas de detecção e contagem dos pulsos provenientes do circuito sensor, ainda, foi criada uma estrutura semelhante para detectar os pulsos provenientes do segundo sensor.

No desenvolvimento do *firmware* existem dois passos de grande importância, sendo eles, a transformação das unidades de grânulos para um valor em gramas e a comunicação serial que será o meio de disponibilidade da informação.

#### **3.3.1 Medição da vazão em gramas**

Apenas feitas as modificações de *hardware*, o sensor consegue fazer a leitura da vazão de grânulos, porém, essa vazão é dada em forma de unidades de grânulos que passam pelo tudo de escoamento. Para a real finalidade do sensor, é interessante que suas medidas sejam feitas em gramas, uma vez que a informação de vazão precisa ser comparada com o valor esperado de fertilizante que deverá ser despejado em determinado local.



Primeiro, foi necessário criar uma tabela de conversão, de forma manual. Com o fertilizante real e usando uma balança de precisão, fez-se uma série de medidas para mapear a quantidade de grânulos que fornecem valores de 0 a 30 gramas de fertilizante. Optou-se por fazer a conversão até 30 gramas, para que aja uma margem flexível. A quantidade em gramas de fertilizante que é aplicada no ponto de um terreno pode ser influenciada por diversos aspectos, tais como, o tamanho do terreno, a capacidade da máquina e sua velocidade e inclusive o tipo de fertilizante usado. Levando isso em conta e fazendo um levantamento através de manuais de usuário e relatórios de aplicação, concluiu-se que a maior quantidade de aplicação de insumo por metro quadrado de um terreno não ultrapassa o valor de 10 gramas.

Para realização do mapeamento, separou-se quantias de cada componente do fertilizante, em conjuntos de 1 grama, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 gramas com auxílio de uma balança de precisão. Então, utilizando a bancada de testes e o *software* Hercules como terminal de comunicação serial, fez-se uma série de dez despejos do fertilizante para cada um dos conjuntos de quantidades em grama, bem como para cada um dos componentes do fertilizante de forma individual.

O *software* Hercules recebeu através da comunicação serial proveniente do kit e apresentou na tela a quantidade de grânulos captados pelo sensor, permitindo assim que uma comparação do peso, com a quantidade de grânulos em unidades, fosse efetuada.

Posteriormente, fez-se a média de cada um dos dez ensaios, fornecendo então uma faixa de unidades de grânulos para cada quantidade em gramas respectivamente.

As tabelas com os dados da conversão grânulos-gramas podem ser encontradas no Apêndice A.

Com esse mapeamento, fez-se no *firmware* um laço de condições para a conversão. O mapeamento foi feito para os três componentes do adubo, separadamente, pois cada elemento apresenta composições diferentes, como peso e densidade.

### 3.3.2 Disponibilidade da informação

Para a disponibilidade da informação, utilizou-se o protocolo de comunicação serial assíncrona já que a transmissão da informação precisa ser rápida e a comunicação serial assíncrona é suficiente nesse quesito, além de ser um protocolo de comunicação bastante usual. Foi configurada a comunicação serial a 57600 bps, de modo a apenas transmitir dados e não receber.

Trabalhando juntamente com o protocolo de comunicação, um *timer* faz uma contagem de 3 segundos a partir do momento que o primeiro grânulo é captado pelo sensor, e logo após os 3 segundos, a informação da quantidade de vazão é enviada para a porta serial no formato ASCII. Usou-se 3 segundos pois esse é o tempo médio de duração de um despejo de fertilizante em um determinado ponto do terreno.

Usou-se como terminal serial o software *Hercules SETUP*, pois apresenta uma *interface* fácil de trabalhar, o aplicativo pode ser um servidor de terminal para o padrão RS-232 que usa parâmetros que definem o tipo de conexão, o modo de operação, a versão de firmware do dispositivo e pode exibir as informações em ASCII, HEX ou DEC, juntamente com um registro do processo.

## 4. RESULTADOS

A figura 23, mostra o sistema montado na bancada para realização dos testes de validação do sensor.

Figura 23: Sistema

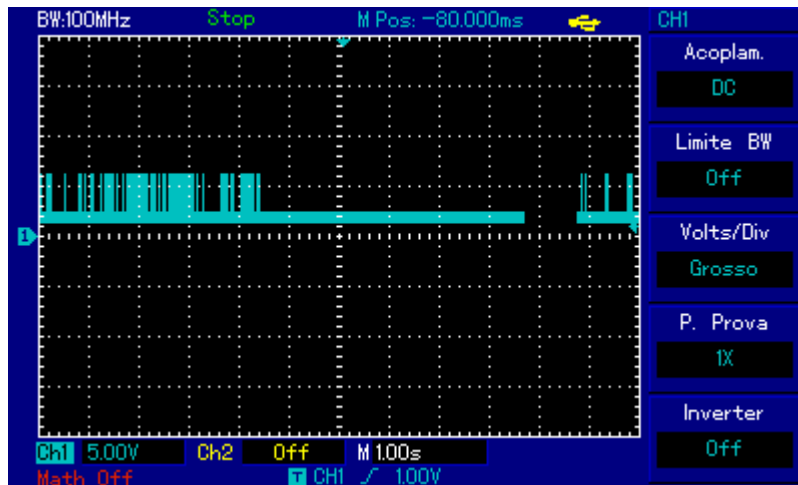


Fonte: Autoria própria.

Com os sensores já devidamente acoplados aos tubos de escoamento, foram utilizados grânulos do fertilizante real para colher resultados. No experimento de bancada utilizou-se uma fonte de tensão para alimentação com 5V, no kit de desenvolvimento foi embarcado o *firmware* final desenvolvido, que faz a contagem dos pulsos e informa na tela pelo *software* Hercules, a quantidade em gramas do fertilizante depositado. Além disso, utilizou-se os osciloscópios para visualização dos pulsos.

Para o primeiro ensaio, usou-se 10 gramas de fósforo, pesadas previamente numa balança de precisão. A figura 24 mostra os pulsos gerados no osciloscópio.

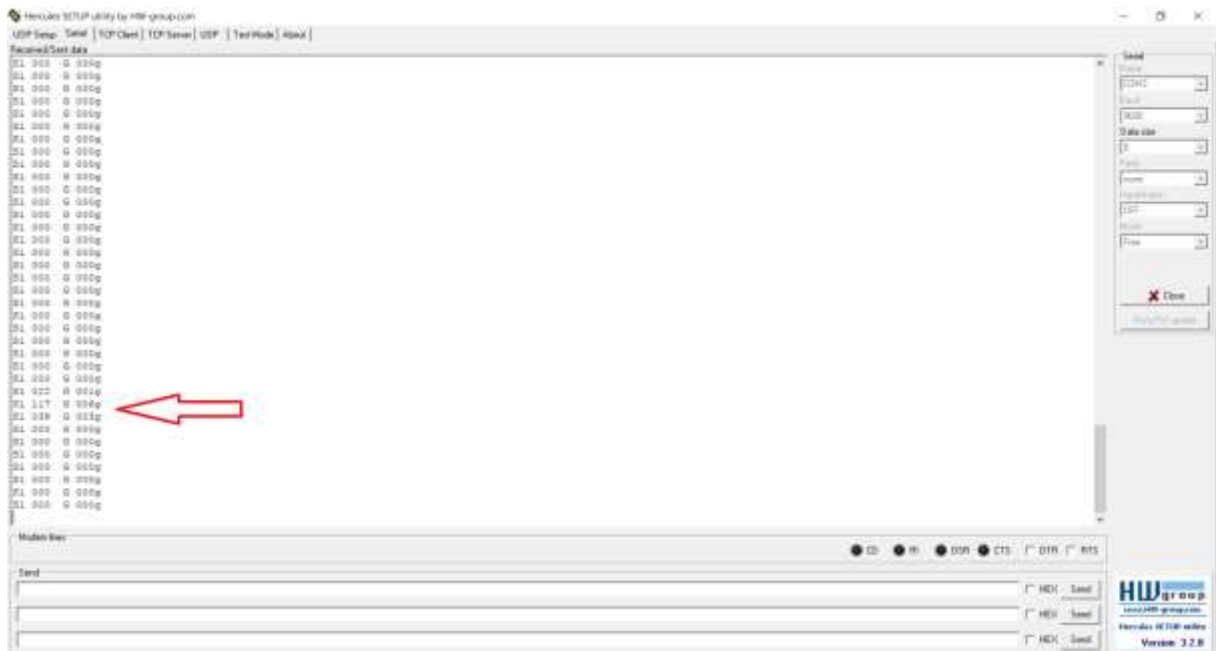
**Figura 24: Bordas de saída – 10 gramas (Fósforo)**



Fonte: Autoria própria.

A figura 25, apresenta a tela do *software* Hercules, onde ocorre a recepção da informação que é enviada via comunicação serial.


**Figura 25: Quantidade em gramas da vazão de fósforo**



Na figura 26, vemos em *close-up* o momento da captura das gramas do fertilizante depositado. O sensor faz uma leitura correta da vazão do fertilizante e fornece como resposta 10 gramas de fertilizante despejado no tubo de escoamento.

**Figura 26: Close-up da captura da vazão em gramas**

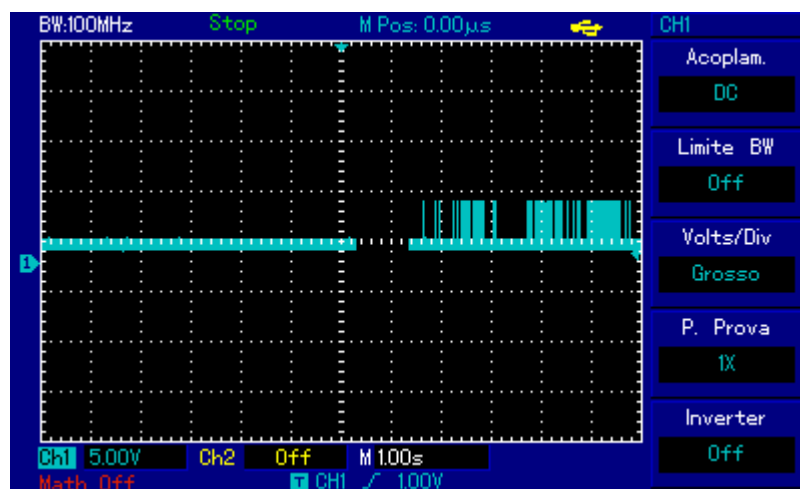
S1 000	G 000g
S1 022	G 001g
S1 117	G 006g
S1 039	G 003g
S1 000	G 000g
S1 000	G 000g
S1 000	G 000g



Fonte: Autoria própria

Para o segundo ensaio, usando agora 8 gramas de potássio, obteve-se:

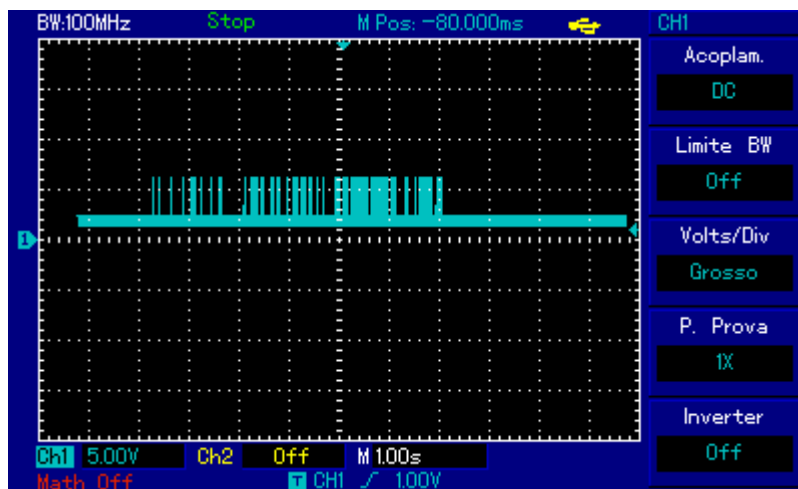
**Figura 27: Bordas de saída – 8 gramas (Potássio)**



Fonte: Autoria própria.

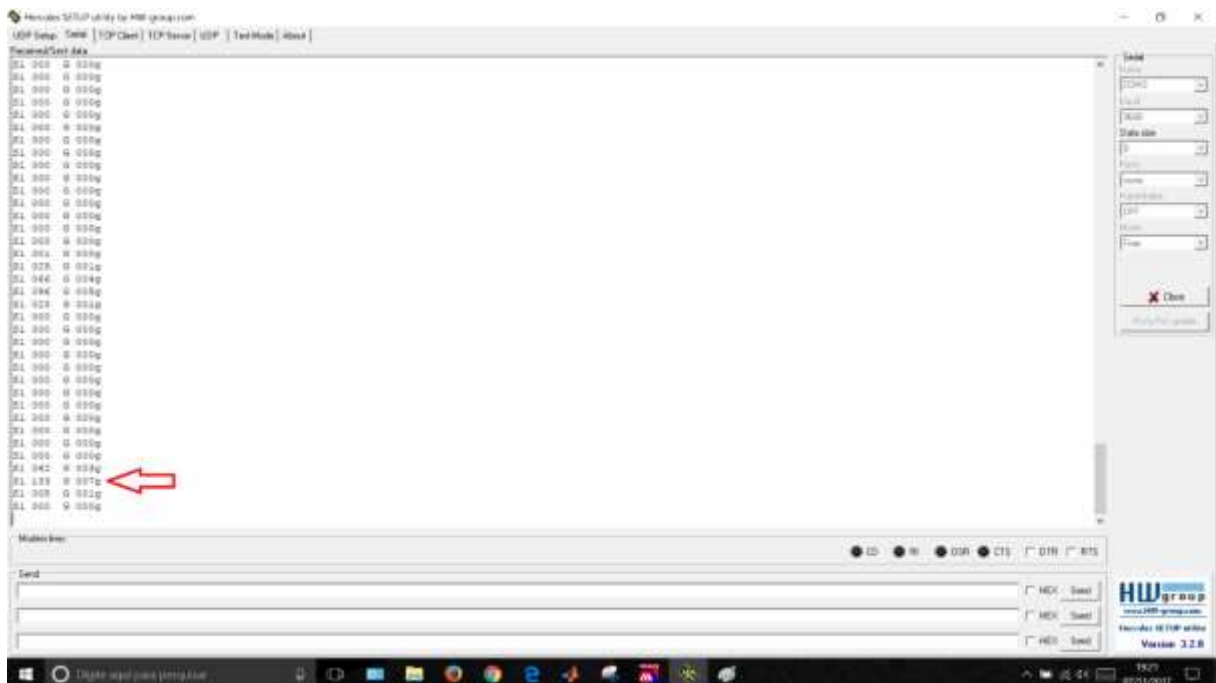


**Figura 30: Bordas de saída – 10 gramas (Nitrogênio)**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 31: Quantidade em gramas de vazão de Nitrogênio**



Fonte: Autoria própria.

A figura 32 mostra a captura das gramas do fertilizante depositado. O sensor fornece como resposta 11 gramas de fertilizante despejado no tubo de escoamento.

**Figura 32: Close-up da captura de vazão em gramas**

S1 000	G 000g
S1 042	G 003g
S1 133	G 007g
S1 008	G 001g
S1 000	G 000g

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que nos ensaios em que se utilizou Nitrogênio e Potássio, os resultados de leitura obtidos pelo sensor, tiveram erros de 1 grama para mais ou para menos. Isso se deve ao fato do mecanismo de conversão de grânulos por gramas ter sido feito através de um levantamento feito de forma manual.

Por fim, a figura 33 apresenta a captura das gramas feita de forma simultânea nos dois sensores, estes que, estão recebendo quantidades diferentes de componentes distintos do fertilizante.

**Figura 33: Close-up da captura de vazão em gramas em dois sensores simultaneamente**

```
S1 000 G 000g
S1 000 G 000g
S1 000 G 000g
Serial port COM3 closed
Serial port COM3 opened
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 030g G 001g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 012 G 001g S2 000g G 000g
S1 021 G 001g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 004 G 001g S2 000g G 000g
S1 052 G 003g S2 042g G 002g
S1 019 G 001g S2 051g G 002g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
S1 000 G 000g S2 000g G 000g
```

Fonte: Autoria própria.



## 5. CONCLUSÃO

A necessidade de aumentar a produtividade do setor agrícola, sem que este aumento se traduza em maior agressão ao meio ambiente ou em abertura de novas áreas para o plantio, motivou uma corrente de pesquisa na área de agricultura de precisão, onde trabalhos estão sendo desenvolvidos na direção de aperfeiçoar implementos agrícolas para que a mistura dos nutrientes que o solo necessita seja realizada no momento do plantio.

As ações que conduzem à chamada agricultura de precisão exigem diversas etapas para sua implementação, contudo, uma das mais importantes está relacionada com a formulação dosagem e aplicação de fertilizantes agrícolas a taxas variáveis de maneira localizada e precisa. Para isto, tem-se a necessidade de desenvolver equipamentos capazes de executar tais tarefas.

Por estas razões, esse trabalho teve como objetivo, desenvolver um medidor de vazão para fertilizante sólidos do tipo NPK. Estudou-se duas alternativas de sensoriamento e a que se mostrou mais viável foi adotada. Adaptações de *hardware* foram realizadas a um sensor que já existe no mercado, o processamento digital dos dados provenientes do sensor foi realizado através de um microcontrolador PIC184550 e implementado por meio do software MPLAB, ainda, para a disponibilidade da informação das medidas de vazão, utilizou-se o protocolo de comunicação serial assíncrona pelo software de terminal Hercules *SETUP*.

O uso de um microcontrolador para o processamento dos dados, traz rapidez a transmissão da informação da medida de vazão, um ponto positivo, já que em aplicações reais, de máquina agrícolas de plantio direto, a rapidez da captação, processamento e armazenamento da informação, é um requisito indispensável.

O sistema condutor-emissor-sensor apresentou resultados satisfatórios, conseguindo em alguns ensaios captar a quantidade exata de vazão em gramas do fertilizante. No entanto, alguns ensaios apresentaram pequenas margens de erro, como pode ser visto nos resultados, onde houveram discrepâncias de 1 grama para mais ou para menos. Isso se deve ao fato do mecanismo de conversão de peso por unidade ter sido elaborado totalmente de forma manual, o uso da balança de precisão e a quantidade de testes feitos para determinar-se uma média de grânulos-grama, atribuem incertezas à conversão final e poderiam ser refinados utilizando-se métodos computacionais que expandam esse estudo.

## 5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O projeto apresentado nesse trabalho pode ser utilizado como base para um estudo mais profundo de algumas de suas funcionalidades.

Como citado anteriormente, uma possível sugestão para trabalhos futuros, seria a possibilidade de realizar-se um aprimoramento da conversão de unidade de grânulos por quantidade em gramas.

A utilização de algum sistema inteligente (redes neurais, fuzzy, etc) seria interessante para auxiliar na determinação da quantidade de grãos por conjunto de pesos.

A propriedade mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender de seu ambiente e com isso melhorar seu desempenho. Essa característica ajudaria a refinar a tabela de conversão dos grânulos por gramas, garantindo uma precisão ainda maior, com base no seu treinamento e aprendizado.

## REFERÊNCIAS

- ELIAS, DENISE. **Globalização e agricultura**. São Paulo: Edusp: 2003a. 480p.
- SWINTON, S.M.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Evaluating the profitability of site-specific farming**. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 11, n. 4, p.439-446, 1998.
- PAGHI, C.E. Dissertação de Mestrado “**Aperfeiçoamento do Anemômetro a Efeito Peltier**”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: Manejo da Variabilidade Espacial e Temporal dos Solos e das Culturas**. In: Tópicos em Ciência do Solo, Volume III, SBCS, Viçosa, p 249-250, 2002.
- GRIFFIN, T. W., & LOWEBERG-DEBOER, J. **Worldwide adoption and profitability of precision agriculture**. *Revista de Política Agrícola*, 14, 20–38, 2005.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. C.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 1, p. 1-64.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo no Brasil: Contribuições do Instituto Agrônomo de Campinas**. *Informações Agronômicas*, Campinas. n.122. p.01-13. 2010.
- REYNALDO, E. F. **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes ângulos de nivelamento longitudinal e transversal**. 2013, Tese (doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 2013.
- PIERCE, F.J.; NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. *Adv. Agronomy*, v. 67, p.1-85, 1999.
- OLIVEIRA, P. R. **Agricultura de Precisão: A Tecnologia da Informação em Suporte ao Conhecimento Agrônomo Clássico**. *Revista Tecnologia e Cultura*. CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA, Rio de Janeiro, p. 63-70, 2009.
- CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. **Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão**. *Revista Economia e Sociologia Rural*, v. 48, n. 4, p. 543-565. 2010.
- OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, Z.M. **Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.31, n.6, p.1.826-1.830, 2007a.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. **A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território.** Geo UERJ - Ano 13, nº. 22, v. 2, 2º semestre de 2011 p. 290-322.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. **Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; BARTHOLO, G.F.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, Â.M.; CARVALHO, A. M. de. **Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de “Icatu” com “Catimor”.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.33, n.1, p.47-52, 2009.

HURLEY, T.M.; OISHI, K.; MALZER, G.L. **Estimating the potential value of variable rate nitrogen applications: a comparison of spatial econometric and geostatistical models.** Journal of Agricultural Resource Economics 2005.

MZUKU, M. et al. **Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones.** Soil Science Society American Journal, Madison, v.69, n.5, p.1572-1579, 2005.

DERCON, G. et al. **Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.86, n.1-2, 2006.

PIRES, J.L.F.; CUNHA, G.R.; PASINATO, A.; FRANCA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão: aspectos gerais.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 18 p., 2004. (Documentos Online; 42). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm)>. Acesso em 09 de maio de 2017.

OLIVEIRA, P. R. **Agricultura de Precisão: A Tecnologia da Informação em Suporte ao Conhecimento Agrônomo Clássico.** Revista Tecnologia e Cultura. CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA, Rio de Janeiro, 2009.

CORÁ, J.E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage.** East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p. (Tese de Doutorado).

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades.** 2006. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2006.

FARNHAM, D. E. **Site-specific crop management: what have we learned and where do we go from here?** Ames: Iowa State University-Department of Agronomy, 2000. 6 p.

CORÁ, J.E. et al. **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, n.6, 2004.

SARAIVA A. M. CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. 2000. **Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes.** In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.: VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. Agricultura de precisão. Viçosa: UFV.

SCHOENAU, J.; GREER, K. **Field mapping of soil nutrient supply rates.** *Better Crops, Norcross*, v. 80, n. 3, 1996.

LUCHIARI JR, A.S.; SILVA, A.D.; BUSCHINELLI, C.C.A.; HERMES, L.C.; CARVALHO, J.R.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J.S. Agricultura de precisão e meio ambiente, In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto.** Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2004.

DELMEÉ G., Jean. **Manual de medição de vazão.** 3ª Edição – 2003; Editora Edgard Blücher Ltda.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Medição de Vazão - Fundamentos e Aplicações.** 5. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda., 1999.

BEGA, E. A. et al (Org.). **Instrumentação Industrial.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 668 p.

Balbinot, A., Brusamarello, V. J., 2010. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** Vol. 1. 2ª Edição, LTC.

SOUZA, Vitor A. **A história e as diferenças entre um microcontrolador e um microprocessador,**2007.

MIYADAIRA, A. N. **Microcontroladores Pic18, Aprenda e Programe em LINGUAGEM C.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2009.

SOUZA, David José. **Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A.** 8ª ed. São Paulo, SP, Brasil: Érica, 2005.

MARTINS, Henrique. R ; TORRES, Fernando. E. **Apostila Curso de Sistemas Microcontrolados,** baseado no PIC18F4550, 2011.

FOX, Robert. McDonald, Allan. Pritchard, Phillip. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** 7ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2010.

HOVADICH, WAGNER A. A.; ELEUTERIO, WARLEY A.; BRAGA, EDUARDO Q. **Controlador lógico programável utilizando PIC18F4550.** Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, FABIANA V.; MURARA, FERNANDO H.; GENTILIN, FABIO A.; RIVA, POLIANA B. **Medidor de vazão para fertilizantes sólidos por meio de indução**

**eletromagnética através de bobinas.** IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar, 2015.

RAIMO, C. D.; SOUZA, E. A. C. **Desenvolvimento e análise de um protótipo para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos (n, p e k) a taxas variáveis de maneira localizada em máquinas de plantio direto.** FEB – III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UNESP – Bauru, 2009.

BICA, ROBERTO M. **Medição de vazão mássica para adúbos sólidos em sistemas de adubação a taxas variáveis.** FEB – III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UNESP – Bauru, 2009.

SANTOS, ROBERTO B. **Amplificador operacional básico.** Disponível em <[http://miniportal.weebly.com/uploads/2/7/6/2/2762008/ampop\\_basico.pdf](http://miniportal.weebly.com/uploads/2/7/6/2/2762008/ampop_basico.pdf)> Acesso em: 10 de maio de 2017.

Museu das comunicações. Disponível em: <<http://macao.communications.museum/por/main.html>> Acesso em 10 de maio 2017.

Instituto Newton C. Braga. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/>> Acesso em 10 de maio de 2017.

Laboratório de garagem. Disponível em: <<http://labdegaragem.com/>> Acesso em 10 maio de 2017.

ACEPIC Tecnologia. Disponível em: <<http://www.acepic.com.br/>> Acesso em 10 de maio de 2017.

Manual do produto AGVERT: Sistema digital inteligente de monitoramento de adubo. Disponível em <[agral.com.br](http://agral.com.br)>.

Gerenciador de plantio SMID: Manual de instalação e operação. Iconnect Indústria de Produtos Eletrônicos Limitada. Londrina – PR, v.9.

Conceitos gerais de comunicação serial. Digital National Instruments <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/32679C566F4B9700862576A20051FE8F>> Acesso em 05 de novembro de 2017.

## APÊNDICE A – TABELA DE CONVERSÃO GRÂNULOS-GRAMA

### POTÁSSIO

K			
Gramas	Sensor (med)	Sensor (MIN)	Sensor (MAX)
1	29	19	36
2	53	41	64
3	57	43	68
4	94	84	115
5	115	97	132
10	253	196	297
15	319	299	335
20	433	411	503
25	516	458	546
30	571	500	613

K										
	1g	2g	3g	4g	5g	10 g	15 g	20 g	25 g	30 g
Média	29	53	57	94	115	253	319	433	516	571
	19	41	58	88	109	297	319	442	540	613
	24	44	59	85	132	253	314	453	530	548
	28	44	57	103	130	209	328	411	479	568
	28	48	46	115	111	198	335	503	477	593
	29	51	61	96	115	271	322	400	485	571
	29	53	55	94	97	211	299	447	516	612
	30	53	48	98	121	274	320	437	516	547
	30	54	43	84	119	196	322	427	501	574
	31	56	60	90	113	258	317	433	458	551
	31	59	68	92	116	259	304	413	525	500
	36	64	54	105	106	214	316	430	546	579

## NITROGÊNIO

N			
Gramas	Sensor (med)	Sensor (MIN)	Sensor (MAX)
1	65	45	73
2	160	146	196
3	217	198	239
4	272	250	317
5	330	313	403
10	472	445	549
15	723	634	794
20	935	846	1103
25	1017	954	1124
30	1344	1077	1686

N										
	1g	2g	3g	4g	5g	10 g	15 g	20 g	25 g	30 g
Média	65	160	217	272	330	472	723	935	1017	1344
45	167	239	257	297	476	774	1003	1017	1077	
56	160	205	275	403	494	697	1103	1170	1434	
66	137	218	250	309	472	723	859	1003	1686	
59	151	216	259	313	491	810	935	1124	1171	
68	146	233	299	385	448	723	842	1021	1318	
85	156	217	313	274	508	776	878	1043	1417	
57	151	258	240	325	472	634	912	989	1230	
71	161	198	317	402	445	778	1029	1036	1547	
73	165	209	256	330	458	714	962	954	1344	
65	196	213	277	362	470	712	1004	989	1289	
55	175	223	272	342	549	794	846	1002	1476	



## FÓSFORO

P			
Gramas	Sensor (med)	Sensor (MIN)	Sensor (MAX)
1	30	23	47
2	40	33	46
3	56	48	71
4	72	62	78
5	82	78	97
10	228	202	330
15	367	305	586
20	436	352	628
25	600	514	645
30	658	500	779

P						
	5 g	10 g	15 g	20 g	25 g	30 g
<b>Média</b>	82	228	367	436	600	658
	81	212	399	586	642	670
	95	257	351	367	559	571
	78	202	518	455	600	577
	80	296	305	628	602	500
	95	231	433	436	603	717
	81	269	338	499	603	698
	86	218	415	432	562	606
	97	217	367	398	574	658
	82	215	334	352	514	770
	86	330	586	559	645	502
	78	228	367	396	554	779