



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

RAFAEL VAGNER DE OLIVEIRA MACHADO

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR  
ARDUINO PARA A TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS**

MOSSORÓ

2016

RAFAEL VAGNER DE OLIVEIRA MACHADO

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR  
ARDUINO PARA A TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em MANEJO DE SOLO E ÁGUA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: MESTRE EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA NO AMBIENTE AGRÍCOLA.

Orientador: Suedêmio de Lima Silva, Prof. Dr.

Co-orientador: Vladimir Batista Figueirêdo, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do autor, sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu respectivo autor seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

M149s Machado, Rafael Vagner de Oliveira.

Sistema de aquisição de dados utilizando microcontrolador Arduino para a tecnologia de aplicação de agroquímicos / Rafael Vagner de Oliveira Machado. - 2016.

70 f. : il.

Orientador: Suedêmio de Lima Silva.

Coorientador: Vladimir Batista Figueirêdo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2016.

1. Pulverizador. 2. Sistema de aquisição de dados. 3. Automação agrícola. 4. Arduino. I. Silva, Suedêmio de Lima, orient. II. Figueirêdo, Vladimir Batista, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAFAEL VAGNER DE OLIVEIRA MACHADO

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR  
ARDUINO PARA A TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROQUÍMICOS**

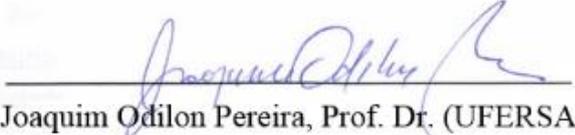
Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de mestre em manejo de solo e água.

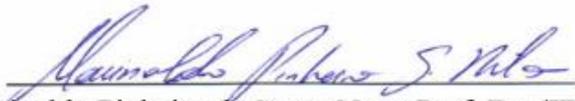
Linha de Pesquisa: mestre em manejo de solo e água no ambiente agrícola.

Defendida em: 16/03/2016.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Suedêmio de Lima Silva, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente

  
Joaquim Odilon Pereira, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

  
Marinaldo Pinheiro de Sousa Neto, Prof. Dr. (IFRN)  
Membro Examinador

  
Vladimir Batista Figueirêdo, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar oportunidade, conhecimento e coragem para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família e noiva pelo constante apoio desde o início desta jornada. Eles são meus maiores exemplos e sempre me inspiram a melhorar.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) de Mossoró, pela oportunidade de realizar o curso do Mestrado.

Ao meu orientador, Dr. Suedêmio de Lima Silva pela cooperação e direcionamento das tarefas ao longo deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de pesquisa Antônio Fabrício, Francisco Aécio e Jorge Luiz que estiveram presentes e me apoiaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos da Igreja Batista Bereiana que me proporcionaram momentos de alegria e comunhão, são esses momentos que me ajudam a persistir e superar as adversidades.

E a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A utilização de produtos fitossanitários tem muita importância para grande parte dos sistemas de produção agrícolas, porém é evidente que esses produtos oferecem riscos ao ambiente e à saúde humana. A tecnologia de aplicação deve ser planejada e monitorada de maneira responsável, com o objetivo de buscar seu aprimoramento e assim minimizar o potencial de danos ao ambiente. Observando esses fatos, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um Sistema de Aquisição de Dados (SAD) de baixo custo para obtenção e armazenamento de dados relacionados à tecnologia de aplicação, como pressão de trabalho, rotação da Tomada de Potência, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade de deslocamento, além de obter as coordenadas geográficas e determinar a área trabalhada pela máquina por meio de GPS. O equipamento tem como base uma placa Arduino Mega 2560 R3, que coordena os sensores utilizados e realiza a manipulação dos dados obtidos, além disso o SAD possui uma interface homem-máquina composta por um *display* LCD e interruptores de pressão do tipo *pushbotton* e um módulo de cartão de memória para armazenar os dados coletados. Com o protótipo do SAD pronto foram realizados ensaios com os sensores e com o módulo de GPS em campo. Para o GPS o ensaio estático foi realizado na estação geodésica 92426 localizada no IFRN em Mossoró/RN, foi observado que a média das coordenadas obtidas pelo módulo GPS utilizado alcançou uma distância de 0,6 m com relação a estação geodésica. Com o fim do trabalho pode-se concluir que o SAD desenvolvido é um equipamento robusto, de fácil manipulação e com custo acessível para pequenos e médios produtores. O sistema apresenta uma interface homem-máquina bastante intuitiva, proporcionando um acesso fácil e rápido a todos os parâmetros de configuração e funcionalidades do equipamento.

**Palavras-chave:** pulverizador, sistema de aquisição de dados, automação agrícola, arduino.

## ABSTRACT

The use of plant protection products is very important for most agricultural production systems, but it is clear that these products pose risks to the environment and human health. The application of technology should be planned and monitored in a responsible manner, in order to seek its improvement and to minimize the potential damage to the environment. Observing these facts, this study aims to develop a data acquisition system (DPS) low cost for obtaining and storage technology application-related data, as working pressure, Rotation Power Outlet, temperature and relative humidity, travel speed, besides obtaining the geographic coordinates and determine the area worked by the machine by means of GPS. The equipment is based on an Arduino Mega 2560 R3 board, which coordinates the sensors used and performs the manipulation of data, Furthermore SAD has a man-machine consists of an LCD display interface and pushbotton type of pressure switches and a memory card module to store the collected data. With SAD prototype ready tests were carried out with the sensors and the GPS module in the field. For the static test was conducted on GPS geodetic station located at 92426 IFRN Mossoró / RN, it was observed that the average of the coordinates obtained by the GPS module used has reached a distance of 0.6 m with respect to geodetic station. With the end of the work can be concluded that the SAD is developed a robust equipment, easy to handle and affordable for small and medium producers. The system features an intuitive man-machine interface, providing easy and quick access to all configuration parameters and features of the equipment.

**Keywords:** spray, data acquisition system, agricultural automation, arduino.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Configuração de um Sistema de Aquisição de Dados normalmente encontrado em coletores de dados.....	5
<b>Figura 2-</b> Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados. ....	14
<b>Figura 3</b> – Representação do circuito regulador da tensão de alimentação.....	15
<b>Figura 4</b> - Placa Arduino Mega 2560. ....	16
<b>Figura 5</b> – Diagrama de bloco para conexão do sensor de pressão. ....	18
<b>Figura 6</b> – Diagrama de bloco para conexão do sensor de temperatura e UR. ....	19
<b>Figura 7</b> – Diagrama do circuito condicionador de sinal pulsado. ....	20
<b>Figura 8</b> – Diagrama elétrico da placa de circuito.....	22
<b>Figura 9</b> – Placa de circuito impresso (A) trilhas de cobre da parte inferior (B) trilhas de cobre e legendas da parte superior (C) placa finalizada. ....	24
<b>Figura 10</b> – Fluxograma representativo para cartão SD conectado.....	25
<b>Figura 11</b> – Imagem frontal do SAD.....	28
<b>Figura 12</b> – Pressão (Bar) obtida com o manômetro de precisão versus tensão de saída (mV) do sensor ASDX100G2.....	29
<b>Figura 13</b> – Gráfico da pressão obtida pelo SAD em função da pressão obtida pelo manômetro de precisão.....	31
<b>Figura 14</b> – Gráfico da temperatura obtida pelo sensor DHT11 em função da temperatura obtida pelo sensor Hmp45.....	32
<b>Figura 15</b> - Captura de tela do ensaio realizado com osciloscópio NI myDAQ.....	33
<b>Figura 16</b> – Frequência emitida pelo gerador de versus contabilização de pulsos realizada pelo Arduino.....	33
<b>Figura 17</b> – Coordenada média de cada GPS exibida no Google Earth.....	34
<b>Figura 18</b> – Trajetória realizada durante o ensaio de campo.....	35
<b>Figura 19</b> – Tela de apresentação (A) tela que representa o cartão SD não detectado (B) tela que representa o cartão SD detectado (C).....	37
<b>Figura 20</b> – Telas com opções do menu principal.....	38
<b>Figura 21</b> – Tela de espera para o sinal do GPS.....	38
<b>Figura 22</b> – Definição do nome do arquivo.....	39
<b>Figura 23</b> – Tela onde o intervalo de gravação é definido. ....	39
<b>Figura 24</b> – Tela onde a largura de trabalho é definida.....	40

<b>Figura 25</b> – Tela de exibição dos dados de operação. ....	41
<b>Figura 26</b> – Tela da opção excluir arquivo: (A) apresentação dos arquivos (B) Confirmação ou não da exclusão do arquivo.....	41
<b>Figura 27</b> – Tela de confirmação para a exclusão de todos os arquivos. ....	42
<b>Figura 28</b> – Telas da opção “Calibração” (A) tela de instrução (B) tela que exibe os dados de velocidade. ....	43
<b>Figura 29</b> – Telas da etapa de determinação da pressão (A) tela de instrução (B) tela que exibe os dados de pressão. ....	44
<b>Figura 30</b> – Telas dos parâmetros requeridos (A) determinação do espaçamento entre pontas (B) determinação do volume de água coletado (C) determinação do volume de calda que deverá ser aplicado.....	45
<b>Figura 31</b> - Tela que mostra a pressão indicada. ....	46
<b>Figura 32</b> – Telas da opção cronômetro (A) cronômetro zerado (B) opções do cronômetro. ....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Ensaio de validação do sensor de pressão.....	42
<b>Tabela 2</b> – Médias das velocidades obtidas pelo GPS em cada etapa da operação.....	47
<b>Tabela 3</b> – Orçamento do SAD.....	52
<b>Tabela 4</b> – Dados obtidos no ensaio de campo.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPS	<i>Global positioning system</i>
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
MISO	<i>Master input, slave output</i>
MOSI	<i>Master output, slave input</i>
PCI	Placa de circuito impresso
SAD	Sistema de aquisição de dados
SCLK	<i>Serial clock</i>
SD	<i>Secure digital</i>
SPI	<i>Serial peripheral interface</i>
SS	<i>Slave select</i>
TDP	Tomada de potência
UR	Umidade relativa
VDC	<i>Voltage direct current</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários .....	3
2.2 Sistemas de aquisição de dados (SAD) .....	5
2.3 Sistemas de Aquisição de Dados aplicados à motomecanização .....	7
2.4 Microcontroladores aplicados à estudos agrícolas .....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Microcontrolador e materiais utilizados .....	13
3.2 Montagem.....	13
3.3 Placa Arduino Mega .....	16
3.4 Sensor de pressão .....	17
3.5 Módulo GPS .....	18
3.6 Sensor de temperatura/umidade relativa do ar (UR) .....	18
3.7 Rotação na tomada de potência (TDP) .....	19
3.8 Módulo de armazenamento .....	21
3.9 Módulo de interface homem-máquina (IHM) .....	21
3.10 Placa de circuito impresso (PCI) .....	22
3.11 <i>Software</i> .....	24
3.12 Programação do Arduino.....	26
3.13 Ensaio dos sensores .....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 Protótipo do SAD .....	28
4.2 Resultado da calibração do sensor de pressão .....	29
4.3 Resultado da calibração do sensor de temperatura.....	31
4.4 Avaliação do circuito condicionador de sinal pulsado .....	32

4.5 Ensaio com GPS .....	34
4.6 Ensaio de operação do SAD .....	34
4.7 Ensaio de avaliação da velocidade média com GPS .....	36
4.8 Funcionamento do SAD .....	36
4.9 Atividade realizadas com o cartão SD conectado .....	37
4.9.1 Opção operação .....	38
4.9.2 Opção excluir arquivo .....	41
4.9.3 Opção excluir todos .....	41
4.9.4 Opção calibração .....	42
4.9.5 Opção cronômetro .....	46
4.10 Atividade realizadas com o cartão SD desconectado .....	47
4.11 Orçamento do SAD .....	47
5 CONCLUSÃO.....	48
6 LITERATURA CITADA.....	49
ANEXO A – TABELA DO ORÇAMENTO DO SAD.....	52
ANEXO B – TABELA DOS DADOS OBTIDO NO ENSAIO DE CAMPO.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de produtos fitossanitários via pulverização é a forma mais eficaz e imediata de controle de doenças e pragas que são comuns quando se pratica agricultura de maneira intensiva. A sua utilização por um lado aumenta os custos de produção e por outro, a não utilização pode comprometer, no todo ou em parte, a produtividade esperada e, em consequência, os investimentos e lucros do agricultor.

O uso correto da tecnologia de aplicação, a minúcia na regulagem e calibração do pulverizador possibilita que o tratamento seja feito com o volume próximo do ideal, garantindo economia e melhores resultados de produtividade e reduzindo as perdas por deriva ou escorrimento, distribuição irregular da calda aumentando os riscos de contaminação do meio ambiente.

Durante a aplicação de insumos, a vazão, o tamanho das gotas e o formato do jato da pulverização têm relação direta com tamanho do orifício, as características do líquido pulverizado bem como, a pressão de trabalho. Esse fato evidencia que, uma vez determinado o tipo de pontas de pulverização e o líquido a ser aplicado, é de fundamental importância o monitoramento constante da pressão de trabalho, a fim de minimizar as perdas e potencial danoso da operação.

No mercado, existem modelos de máquinas agrícolas com excelentes instrumentos empregados na agricultura de precisão. Essas máquinas possuem sistemas eletrônicos que permitem ao operador monitorar informações relacionadas à aplicação de insumos, preparo da terra, plantio ou qualquer outra operação necessária. Nessas máquinas dados como pressão de trabalho, rotação da Tomada de Potência (TDP), velocidade de deslocamento entre outras, podem ser monitorados e gravados com facilidade. Apesar da confiabilidade e da comodidade na obtenção de dados por meio dos equipamentos presentes em alguns modelos de máquinas agrícolas, seu alto custo restringe a aquisição dessas máquinas aos grandes produtores rurais. Esse fato fortalece a ideia de uma alternativa de baixo custo que possa levar a agricultura de precisão a um mercado de menor poder aquisitivo.

Esses equipamentos apresentam preços relativamente baixos, qualidade satisfatória e pode obter dados com precisão adequada e com grande confiabilidade. Contudo nenhum sensor seria útil sem que associado a eles não houvesse uma interface que tivesse o poder de ler e processar toda informação proveniente destes. Para essa função podem ser usadas várias plataformas, porém o projeto Arduino, que é uma plataforma que engloba *hardware* e *software* e tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos interativos, utilizando

um microcontrolador. Além da interface do Arduino permitir que ele leia dados de sensores, seu software é livre e seu hardware é bastante versátil, isso o torna compatível com diversos outros equipamentos existentes no mercado e facilita a construção de circuitos que possam ser utilizados em conjunto com o Arduino.

Analisando a importância do monitoramento das atividades relacionadas a aplicação de insumos agrícola, buscando sempre minimizar o potencial de danos ao solo e aprimorar o uso racional dos recursos e percebendo que as soluções apresentadas pelo mercado são muito onerosas, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um equipamento de baixo custo para obtenção, exibição e armazenamento de dados relacionados a tecnologia de aplicação de agrotóxicos, como pressão de trabalho, rotação da Tomada de Potência, velocidade de deslocamento e a posição georreferenciada do conjunto utilizando uma plataforma Arduino.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**

Cientes da importância da instrumentação desenvolvida para aplicação de insumos na agricultura, Antuniassi et al. (2002) desenvolveram um método para se medir o desempenho de sistemas de injeção de defensivos e avaliaram as características de três sistemas disponíveis no mercado. Os autores avaliaram a manutenção de doses constantes utilizando corantes e sais como traçantes. A resposta dinâmica a mudanças de dose foi determinada através da medição da concentração de sal na calda após o ponto de injeção, através do monitoramento da condutividade elétrica da solução.

Baio et al. (2004) observou que a seleção de uma máquina agrícola, bem como a de um implemento, pode tornar-se uma tarefa difícil, pois existe diversas variáveis que devem ser ponderadas, e a escolha do equipamento mais adequado para uma propriedade agrícola é uma das etapas mais importantes do processo produtivo. Modelos matemáticos podem ser considerados como ferramentas úteis na seleção de implementos agrícolas. Com esse intuito desenvolveram um modelo de programação linear para auxiliar na seleção de pulverizadores agrícolas de barras, baseado no menor custo horário do equipamento.

De acordo com o Manual de Tecnologia de Aplicação (2010) as condições ideais para a pulverização são umidade relativa do ar acima de 50% e temperatura abaixo de 30 °C. Fatores como esses não podem ser alterados, porém a operação pode ser interrompida até que as condições se tornem mais favoráveis para a realização do procedimento. Também nesse mesmo manual, a aplicação incorreta de produtos químicos é sinônimo de prejuízo, pois além de gerar desperdício, aumenta consideravelmente os riscos de contaminação das pessoas e do ambiente. De uma forma geral, até 70% dos produtos pulverizados nas lavouras podem ser perdidos por escorrimento, deriva descontrolada e má aplicação. Ainda segundo o Manual de Tecnologia de Aplicação, as principais causas de deriva no momento da pulverização são as condições climáticas e o tamanho das gotas. Como nas caldas utilizadas na agricultura a proporção da formulação é geralmente baixa, o comportamento da pulverização está diretamente relacionado com o diluente utilizado. Uma vez que a água é o diluente mais comum utilizado nas aplicações de produtos fitossanitários, o comportamento da água frente as diversas condições climáticas é um fator determinante para uma aplicação eficiente. Com relação ao tamanho das gotas, esse mesmo manual, afirma que quanto menores forem estas, mais sujeitas à deriva serão. O tamanho das gotas produzidas pelas

pontas de pulverização depende do tipo da ponta, da vazão, pressão, do ângulo do jato e das propriedades do líquido pulverizado.

No caso específico da aplicação de defensivos agrícolas, Alvarenga & Cunha (2010) ressaltam que qualquer técnica utilizada nesse processo deve viabilizar o controle de insetos, plantas daninhas ou doenças, utilizando uma dose mínima, e distribuir o produto de maneira que se alcance a maior eficácia, sem, entretanto, causar efeitos negativos ao ambiente. O que deixa bem claro que o sucesso de um programa de tratamento fitossanitário, na agricultura, depende fundamentalmente da utilização de produto de eficácia comprovada e de uma instrumentação desenvolvida para sua aplicação.

Além da qualidade do pulverizador, Alvarenga & Cunha (2010) alertam que outros fatores interferem de sobremaneira na aplicação de agrotóxicos como as condições meteorológicas durante sua execução e a forma com a qual os operadores utilizam os equipamentos no campo. Os autores realizaram um trabalho que teve como objetivo avaliar o estado de funcionamento de pulverizadores agrícolas na região de Uberlândia e a metodologia específica de avaliações qualitativas para as condições brasileiras.

Bugatti et al. (2012) afirmam que o uso da automação e controle de pulverização, que ocorre a partir da utilização da eletrônica embarcada, viabiliza a aplicação localizada de insumos em quantidades variáveis e em tempos específicos, otimizando custos de produção e insumos, colaborando para que níveis de produtividade pré-estabelecidos para uma determinada cultura sejam obtidos.

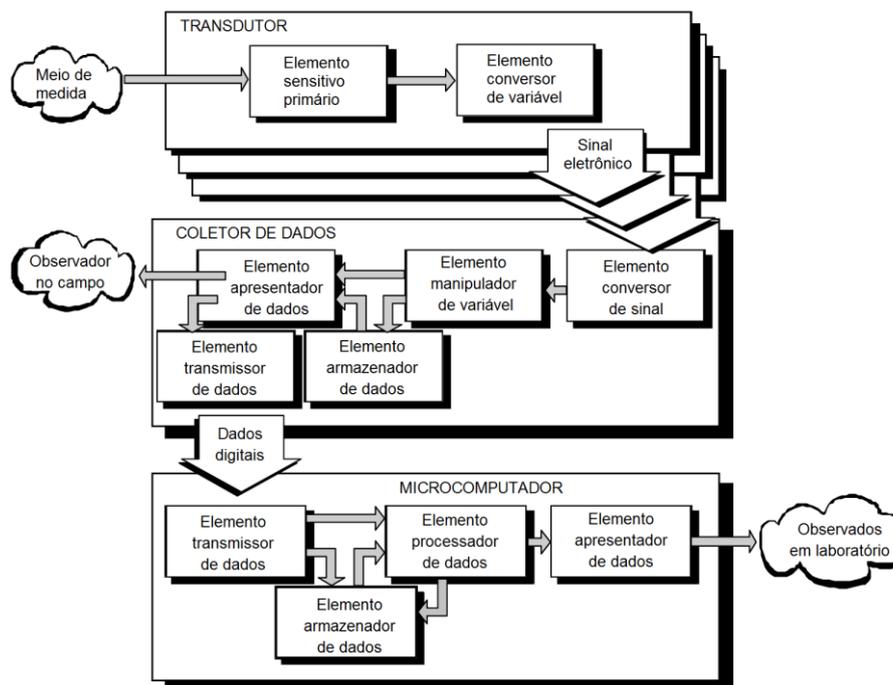
Preocupados com a otimização no uso de agroquímicos, Gandolfo et al. (2013) realizaram um estudo cujo objetivo foi verificar o estado de manutenção de pulverizadores em uso para a região norte do Estado do Paraná. Para isso eles avaliaram a presença, estado e escala do manômetro, estado das mangueiras, estado dos antigotejadores, presença de vazamentos, estado da barra, estado dos filtros, estado das pontas de pulverização e erros na taxa de aplicação. No estudo descrito as máquinas foram caracterizadas como aprovadas quando não havia falha em nenhum item avaliado. Segundo os autores, a identificação do estado de conservação atual e uso dos pulverizadores agrícolas podem orientar futuras pesquisas e investimentos para manutenção e uso adequado, a fim de contribuir para a redução de custos e contaminação ambiental por menor consumo e menores perdas associadas com uma pulverização mais eficiente.

Oliveira et al. (2013) atentaram para o fato de que a alta demanda por agrotóxicos nos sistemas agrícolas, juntamente com a eventual utilização abusiva destes produtos, faz com que a deriva da pulverização seja um dos maiores problemas da tecnologia de aplicação

de agrotóxicos e, provavelmente, um dos pontos mais cruciais para a redução dos impactos ambientais da agricultura brasileira. Os autores realizaram uma pesquisa que avaliou o potencial de adjuvantes dos grupos surfactantes, redutores de deriva, óleos minerais e óleos vegetais para a redução da deriva em pulverizações agrícolas. Os resultados laboratoriais indicam que a seleção de produtos e de concentrações adequadas pode reduzir significativamente o risco de deriva nas pulverizações agrícolas. Entretanto, os melhores resultados obtidos em laboratório deverão ser validados com os produtos que irão constituir as caldas de pulverização em condições de campo no futuro.

## 2.2 Sistemas de aquisição de dados (SAD)

De acordo com Inamasu et al. (1996), os elementos básicos que podem compor um sistema de aquisição de dados são sensores/transdutores, elemento sensível primário, elemento conversor de sinal elemento armazenador de dados, elemento de processamento de dados, elemento transmissor de dados e elemento de apresentação de dados, de acordo com a figura 1.



Fonte Inamasu et al. (1996).

**Figura 1** Configuração de um Sistema de Aquisição de Dados normalmente encontrado em coletores de dados.

Devido ao fato dos SAD's estarem presentes em muitos estudos, colaboram na coleta, armazenamento e análise de dados e inclusive na agropecuária, Almeida (2012) realizou avaliação de um SAD construído e calibrado, tendo como componente central um microcontrolador da família PIC (INTERFACE CONTROLADORA DE PERIFÉRICOS), um software e computador para armazenamento de dados. Nesse trabalho foi feita a verificação do funcionamento do SAD construído, em condições de ambiente protegido, comparando as medidas obtidas pelo SAD construído com as do *datalogger* da *Campbell Scientific Inc.* (CR10X), utilizado como padrão de referência. O autor utilizou um sensor de temperatura e umidade relativa do modelo HMP45C e um sensor termopar tipo T (cobre e constantan). Os resultados dessa comparação mostram que os dados obtidos pelo SAD construído obtiveram alta correlação com os dados obtidos com o padrão. O autor concluiu que o uso do SAD construído é funcional na aquisição de dados de temperatura e umidade relativa para uso no manejo de irrigação.

Giordani (2008), desenvolveu um SAD que contempla 9 canais para coleta de dados de pulso, 3 para sensores do tipo PT100 e 1 para a conexão de uma célula de carga. Os dados coletados pelos sensores são armazenados em uma memória do tipo pen-drive em forma de arquivo-texto para posteriormente serem processados por um aplicativo, o aplicativo analisa alguns fatores preponderantes para o ensaio de implementos agrícolas como, patinagem do rodado do trator, consumo de combustível pelo motor, força empregada em determinado ponto, rotações e temperaturas.

A procura por soluções de baixo custo é, atualmente, uma exigência quando se fala em aquisição de equipamentos para empresas e instituições. Essa procura torna-se ainda mais iminente quando as soluções disponíveis comercialmente são caras e não traduzem por completo os objetivos as quais se destinam.

Souza (2011) afirma que todo o projeto eletrônico, incluindo a plataforma para o desenvolvimento dos programas de controle, é de acesso público e gratuito. Uma extensa comunidade internacional se formou em torno do projeto Arduino, envolvendo técnicos e desenvolvedores de diversas áreas, alunos e professores, hobistas, artistas plásticos, que interagem através de sites, blogs e eventos patrocinados por diferentes instituições no mundo todo.

Segundo Evans et al. (2013) o Arduino é um exemplo de sistema de baixo custo, criado em 2005 para facilitar o aprendizado de eletrônica e programação de estudantes de um curso de design pelo professor Massimo Banzi. O Arduino é uma placa de aquisição baseada num microcontrolador muito versátil que potencializa suas funções para além de

uma simples interface passiva de aquisição de dados, podendo operar sozinha no controle de vários dispositivos e tendo aplicações em instrumentação embarcada e robótica.

De acordo com Bridi et al. (2013) o Arduino é uma plataforma de hardware tipo código aberto, de fácil utilização, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente, dispositivos estes que utilizem como entrada diferentes tipos de sensores/transdutores e como saída, leds, motores, *displays* e autôfalantes, criando desta forma possibilidades ilimitadas. A dispensa do uso de compiladores ou hardware adicional para a programação do chip, juntamente com uma vasta quantidade de bibliotecas disponíveis permitem o interfaceamento com outros hardwares, permitindo o completo desenvolvimento e aplicações simples ou complexas em qualquer área.

Com a utilização de placa Arduino, pode-se montar sistemas de aquisição de dados específicos, de acordo com a demanda operacional necessária visando baixo custo e confiabilidade.

Nas máquinas para a tecnologia de aplicação, dados como pressão de trabalho, rotação da tomada de potência (TDP) e velocidade de deslocamento podem ser monitorados e gravados com facilidade. Apesar da confiabilidade e da comodidade na obtenção de dados por meio dos equipamentos presentes em alguns modelos de máquinas agrícolas, seu alto custo restringe a aquisição das mesmas aos grandes produtores rurais. Esse fato fortalece a ideia de uma alternativa de baixo custo que possa levar a agricultura de precisão a um mercado de menor poder aquisitivo.

### **2.3 Sistemas de Aquisição de Dados aplicados à motomecanização**

Cappelli et al. (2001) realizaram estudos baseados na resistência mecânica à emergência e ao desenvolvimento das raízes das plantas. Esse estudo foi realizado para descrever a construção, a calibração e os ensaios de um Push Cone Eletrônico de baixo custo que pode ser usado para determinar índice de Cone até 40 mm de profundidade. O Push Cone Eletrônico é constituído por um dispositivo mecânico, um circuito eletrônico e um software. A parte mecânica é composta por um corpo confeccionado em alumínio, que abriga um cone cuja força para penetração no solo é suprida por uma mola de característica linear; a parte eletrônica é formada por um sensor de deslocamento, utilizado para medir a deflexão da mola, além de um circuito eletrônico, que faz o interfaceamento do sinal do sensor de deslocamento com um microcomputador; o software, tem a função de controlar a aquisição, o armazenamento e o processamento dos dados. Os autores ressaltam que o desenvolvimento

dos penetrômetros e penetrógrafos busca minimizar as dificuldades relacionadas, basicamente, ao seu manuseio, à manutenção da velocidade de penetração constante e à aquisição e registro dos dados. Ao observarem os resultados do experimento concluíram que o equipamento apresentou bons resultados na calibração e nos ensaios de campo, isso mostra que é sempre válida a pesquisa de equipamentos alternativos aos Sistemas de Aquisição de Dados presentes no mercado.

Nagaoka et al. (2003) avaliaram a resistência do solo à penetração, em função do tipo de pneu, que poderia ser diagonal ou radial, e da carga vertical, utilizando-se um equipamento de ensaio de pneu agrícola individual, e verificar os efeitos nas camadas do solo pela passagem do pneu. O equipamento utilizado foi projetado para ser acoplado na traseira do trator e acionado pela tomada de potência afim de realizar ensaios de pneus em condições de campo, sendo ainda, constituído, de uma caixa de transmissão mecânica de trator, além disso para o armazenamento dos dados foi utilizado um sistema de aquisição de dados "Micrologger" CR23X. No experimento os autores observaram que o pneu radial mostrou vantagem em relação ao diagonal, por apresentar menores valores de índice de cone. As cargas mais elevadas provocaram maiores valores de índice de cone e seus incrementos, nas camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm.

Preocupados com o fato de que a aquisição de dados é um dos principais problemas enfrentados por engenheiros e pesquisadores responsáveis pela realização de ensaios de máquinas agrícolas, devido à alta complexidade dessas máquinas Garcia et al. (2003) desenvolveram um programa de computador para aquisição automática de dados a serem utilizados na avaliação de máquinas agrícolas. Esse sistema foi implementado utilizando-se o programa de computador LabVIEW versão 6i e equipamentos da "National Instruments". Durante os ensaios, os autores observaram que o sistema apresentou facilidade de operação, permitindo rapidez na aquisição de dados e capacidade de se combinar o sistema implementado para atender a demandas de diversas pesquisas, podendo ser utilizado em diferentes tipos de máquinas agrícolas.

No experimento realizado por Santos Filho et al. (2004) foi utilizado um sistema de aquisição de dados constituído por sensores de ruído, condicionadores e amplificadores e um conversor analógico/digital instalados em um microcomputador e embarcados no trator ensaiado. Posteriormente, os dados foram tratados pelo Programa ORIGIN 5.0. O ensaio consistiu em determinar os níveis de ruído emitidos por um trator agrícola executando a operação de gradagem em diferentes velocidades de trabalho e analisar o conforto do operador, comparando os níveis obtidos com os recomendados pelas principais normas

vigentes. Com base nos resultados, concluiu-se que o sistema trator-implemento emitiu níveis de ruído acima dos limites estipulados pelas normas, em todas as velocidades testadas.

Silveira et al. (2005) notaram que no processo produtivo, a informação tem características definidas que devem ser observadas e gerenciadas juntamente com outros fatores de produção, com tudo perceberam que os registros dos trabalhos de campo, normalmente usam métodos pessoais ou pouco organizados, geralmente limitados às anotações feitas em caderneta do operador, esse fato evidencia a importância de um sistema que realiza o registro automático dos dados de campo. Os autores realizaram experimentos estáticos, estudando os parâmetros de identificação do trator no campo, a fim de determinar velocidade de deslocamento, consumo de combustível e rotação do motor, utilizando um sistema automático de aquisição de dados que, em intervalos preestabelecidos, determina a posição do trator no campo através de um receptor GPS, sua velocidade de deslocamento, o consumo de combustível, e a rotação do motor, para verificar sua funcionalidade por meio de comparações com outros métodos de medida.

Notando a importância dos SAD's, Silveira et al. (2006) utilizaram um sistema automático de aquisição de dados para o levantamento de informações de campo, com o objetivo de determinar a capacidade de trabalho e eficiência de campo de máquinas e implementos usados nas operações convencionais de aração, gradagem, semeadura e cultivo da cultura de milho. Este sistema foi concebido para obtenção de dados da localização do trator no campo, através de sistema de posicionamento global (GPS), do consumo de combustível e da velocidade de deslocamento. Devido a versatilidade desse tipo de sistema, o conjunto de dados pode ser obtido repetidamente, permitindo o controle estatístico dos parâmetros operacionais, gerando relatórios contendo os principais indicadores gerenciais como rendimento operacional, e as condições de trabalho.

O trabalho desenvolvido por Bortolotto et al. (2006) teve o objetivo de avaliar a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora disponível comercialmente para plantio direto, submetida a quatro velocidades de deslocamento e três condições de cobertura do solo na implantação da cultura da soja. As variáveis estudadas foram: força na barra de tração, potência requerida, patinação do rodado traseiro do trator e consumo de combustível. Para armazenar os dados da célula de carga e geradores de impulso, foi utilizado um sistema de aquisição de dados da marca *Campbel Scientific Inc.*, modelo CR23X.

Furlani et al. (2007) utilizaram um SAD, que consistiu em avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora no sistema plantio direto. Os diferentes fatores estudados pelos

autores foram separados em três manejos das culturas de cobertura, selecionados em função do tamanho de fragmentos da vegetação, triturador de palhas (palha totalmente triturada), roçadora (palha parcialmente picada) e rolo-facas (palha acamada), combinados com três velocidades do conjunto trator-semeadora-adubadora, sendo 4,0; 5,0 e 6,0 km h<sup>-1</sup>. Para comparar os tratamentos, os autores avaliaram a capacidade de campo operacional, a força de tração e a potência na barra, o consumo horário e por área, e a patinagem dos rodados do trator. Todos os equipamentos utilizados para mensurar os parâmetros avaliados estavam ligados a um sistema de aquisição de dados.

O trabalho realizado por Furlani et al. (2008) teve o objetivo de estudar o desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão em função do preparo do solo (preparo convencional e plantio direto), das velocidades de deslocamento e da pressão de inflação do seu pneu. Para isso foram avaliadas variáveis como: força de tração e potência na barra, consumo de combustível (horário, ponderal, operacional e específico), capacidade de campo operacional, patinagem dos rodados do trator e da semeadora-adubadora, estande inicial e distribuição longitudinal de sementes. O tempo de operação em cada parcela do experimento citado, foi coletado por meio de um sistema de aquisição de dados, o qual dispunha de cronômetro interno com precisão de centésimos de segundos. O sistema de aquisição, acionado na entrada da parcela, armazenava os dados, que posteriormente foram descarregados por meio de um programa específico (PC 208W 3.2 - Datalogger Support Software®) para um microcomputador via cabo. Para aquisição dos dados utilizou-se um micrologger CR23X de marca *Campbell Scientific Inc.* Depois de analisarem os dados coletados, os autores concluíram que o sistema plantio direto demandou maior força (35 %), potência e consumo horário de combustível sendo que o mesmo aconteceu na maior velocidade. A pressão de inflação das rodas da semeadora proporcionou menor patinagem e maior estande inicial de plântulas.

## **2.4 Microcontroladores aplicados à estudos agrícolas**

Teixeira & Coelho (2005) apresentam o desenvolvimento e calibração de tensiômetro de leitura automática, que foi padronizado por meio da comparação com um tensiômetro de mercúrio. Esse equipamento difere do tensiômetro tradicional por substituir o manômetro de mercúrio por sensor de pressão. Tal dispositivo gera uma saída com valor de até no máximo 4,5 volts. O tensiômetro eletrônico é conectado a uma placa de aquisição de dados (DAQ) contendo um microprocessador, conversor analógico/digital (ADC) e saída serial, sendo tal

placa ligada a um microcomputador. Após a calibração os referidos autores puderam concluir que os sensores de pressão apresentaram comportamento linear com ensaios de parâmetros de regressão, indicando a existência de regressão a 0,1% de significância, e os coeficientes de determinação apresentando valores superiores a 0,9970, para qualquer um dos tensiômetros eletrônicos testados.

Mais uma aplicação de microcontroladores para a construção de equipamentos de medição pode ser observada no trabalho feito por Figueiredo Júnior et al. (2006) que construíram e calibraram um manômetro com leitura digital de baixo custo e simples, que armazena dados de pressão em condutos forçados, utilizando basicamente um microcontrolador *Basic Step*, um conversor analógico digital e um transdutor de pressão. Esse manômetro foi calibrado utilizando-se um manômetro de peso morto. Nas conclusões pode-se substituir, se prejuízo, modelos de custo elevado e de difícil manutenção, além de poder ser instalado em computadores de baixo desempenho. A otimização do consumo de água e o conseqüente retorno econômico da atividade da agricultura irrigada, podem ser alcançados não apenas controlando a aplicação de água nos sistemas de irrigação. Softwares de processamento vem sendo associados à transdutores visando à determinação da umidade do solo de uma forma mais precisa. Leão et al. (2007) construíram um dispositivo para calibração de sensores de umidade do solo e a determinação de suas principais propriedades, como precisão e cargas mínima e máxima. O dispositivo consistiu numa torre em aço 1.020, com 3,0 m de altura, no topo da qual se montou uma balança de braços. Em um dos braços da balança, colocou-se uma amostra de solo para a inserção dos sensores de umidade e, no outro, uma célula de carga para medir a variação de massa de água na amostra de solo. Foi implementado um circuito eletrônico para permitir que haja a interface da célula de carga com um sistema de aquisição de dados.

Segundo os autores o dispositivo pode ser utilizado para calibração de sensores de umidade do solo com sensibilidade correspondente à variação de 12,28 mL de água e cargas mínima e máxima para as amostras de solo variando entre 1 e 50 kg.

Observando a importância do ambiente na produção animal e vegetal e, portanto, no controle ambiental adequado, Silva et al. (2007) propuseram em seu trabalho a construção de um sistema de aquisição automatizada de dados de umidade relativa do ar, utilizando-se de microcontrolador de dimensões reduzidas e de baixo custo. A calibração do sensor de umidade relativa foi realizada em três etapas de simulação desenvolvidas em laboratório: caixas perfuradas, dessecador sem tampa contendo sílica-gel em seu fundo e psicrometria. Após as devidas calibrações, cabe ressaltar que houve desempenho superior em ambiente

controlado, comparado com as medições de um psicrômetro não-ventilado. A utilização do “BASIC STAMP®” (microcontrolador usado para a aquisição dos dados de umidade relativa do ar) na confecção de um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa mostrou-se totalmente viável, tanto pela facilidade de operação quanto pelo custo do sistema, comparado com outro sistema já comercialmente existente.

Em conhecimento do fato de que a eficiência energética é um tema de grande importância nos tempos atuais, Turuel et al. (2008) desenvolveram um equipamento com microprocessador, com saída de corrente, para controle da velocidade de rotação do motor do ventilador de sistemas de ar forçado, usando inversor de frequência. Através de programação (*software* IHM.EXE). Os autores tinham o intuito de controlar eficientemente um sistema de resfriamento com ar forçado, de forma a trabalhar com vazões de ar variáveis em função da quantidade de produto a resfriar, mantendo-se a vazão de ar na faixa de valores recomendados, para garantir uma adequada relação custo-benefício. Como isso os autores notaram uma economia de energia da ordem de 82%, com uma rotação equivalente a 56% da nominal do ventilador, proporcionando, desta forma, uma economia significativa no custo de operação do sistema.

Devido ao fato da eletrônica, como ferramenta para automação, desempenhar papel fundamental no desenvolvimento de métodos e sistemas mais eficientes na aplicação e no uso da água para a agricultura, Queiroz, Botrel e Frizzzone (2008), desenvolveram softwares e hardwares para aplicação ao monitoramento e controle automático para a irrigação de precisão usando sistemas do tipo pivô central. Para tanto foram utilizados componentes eletrônicos discretos, circuitos integrados diversos, módulos de radiofrequência, microcontroladores da família *Basic Step*. Foram utilizadas também as linguagens *Delphi* e *TBasic*. O hardware é constituído de dois circuitos eletrônicos, sendo um deles para “interface” com o computador e o outro para monitoramento e transmissão da leitura de tensiômetros para o computador via radiofrequência. Os resultados obtidos mostraram que tanto os circuitos quanto os aplicativos desenvolvidos apresentaram funcionamento satisfatório. Os ensaios de comunicação dos rádios indicaram que esses possuem alcance máximo de 50 m. Concluiu-se que o sistema desenvolvido tem grande potencial para utilização em sistemas de irrigação de precisão usando pivô central, bastando para isso que o alcance dos rádios seja aumentado.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Microcontrolador e materiais utilizados

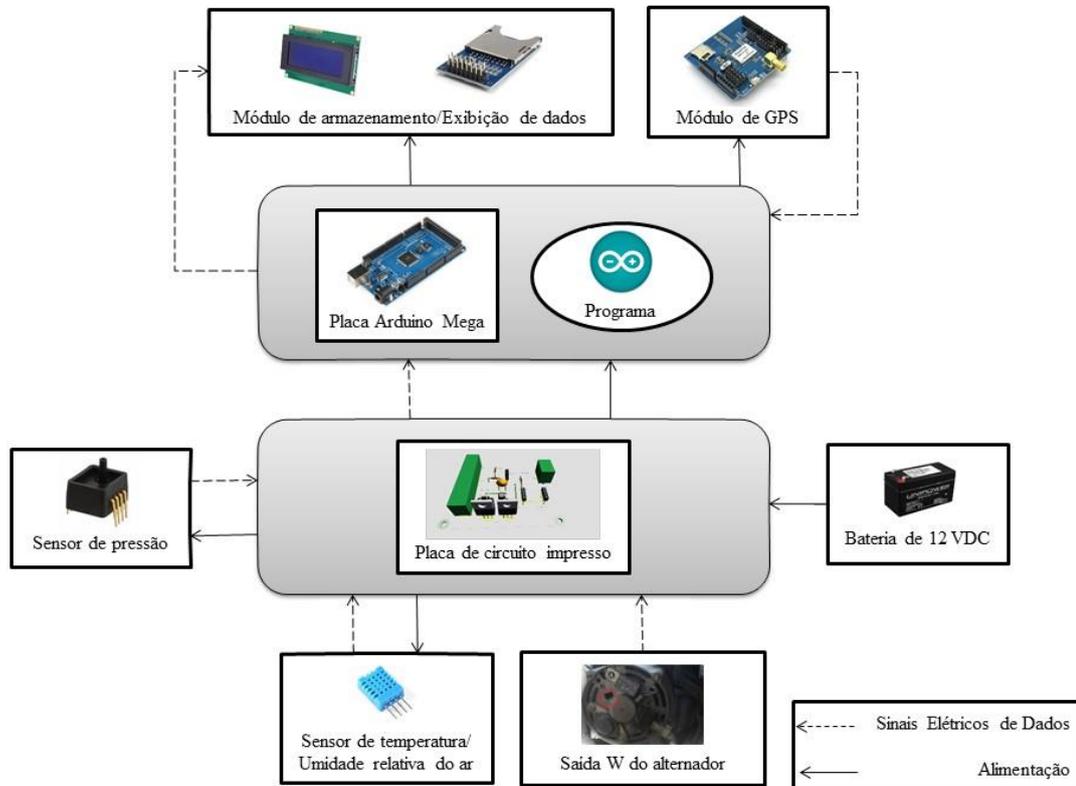
O desenvolvimento do Sistema de Aquisição e Monitoramento de Dados (SAD) foi realizado no laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola (LIMMA), pertencente ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFERSA. O SAD terá como base os seguintes dispositivos de *hardware*: placa Arduino Mega 2560 R3 que é o dispositivo principal do sistema e responsável pelo gerenciamento efetivo das operações realizadas no SAD, também é responsável pela conversão de analógico para digital dos dados dos sensores analógicos e recebe sinais de pulso de sensores digitais para a contagem de pulsos ou medição de frequência; o *shield* GPS é responsável por enviar à placa Arduino informação sobre as coordenadas geográficas, velocidade de deslocamento, data e hora o que é de suma importância para manter os parâmetros temporais sempre atualizados; o sensor de temperatura e umidade relativa do ar envia seus dados de forma decodificada diretamente a uma entrada digital da placa Arduino; um condicionador de sinal pulsado, que recebe um sinal da saída W do alternador e se comunica com a placa por meio de pinos digitais, os pulsos são contabilizados em uma determinada base de tempo a fim de determinar a frequência de rotação da TDP; o *display* de LCD e as teclas do tipo *pushbutton* representam uma interface homem-máquina, permitindo que o operador realize a leitura de dados oriundos do sistema e também informe parâmetros necessários à operação; além desses dispositivos há também um módulo de cartão SD, onde os dados obtidos pelo sistema são armazenados durante a operação.

Cada equipamento descrito no parágrafo acima tem sua funcionalidade e características próprias, atuando em conjunto para desenvolver todas as atividades do SAD. Para melhorar a interpretação de como se deu o desenvolvimento do trabalho ele será descrito em etapas. Inicialmente será descrita toda a montagem do sistema e em seguida serão descritos o funcionamento do SAD, a calibração e a validação dos sensores e transdutores.

### 3.2 Montagem

Além dos dispositivos de *hardware*, a montagem dos SAD inclui o desenvolvimento de programa para o microcontrolador, que realizará o monitoramento de todos os sensores

que compõem o mesmo, elaborado em linguagem C++, utilizando uma plataforma de código aberto Arduino Software (IDE) 1.6.5. Todos os dispositivos eletrônicos em conjunto com o *software* computacional são representados em um layout mostrado na figura 2 com um diagrama que define a estrutura de montagem do SAD.



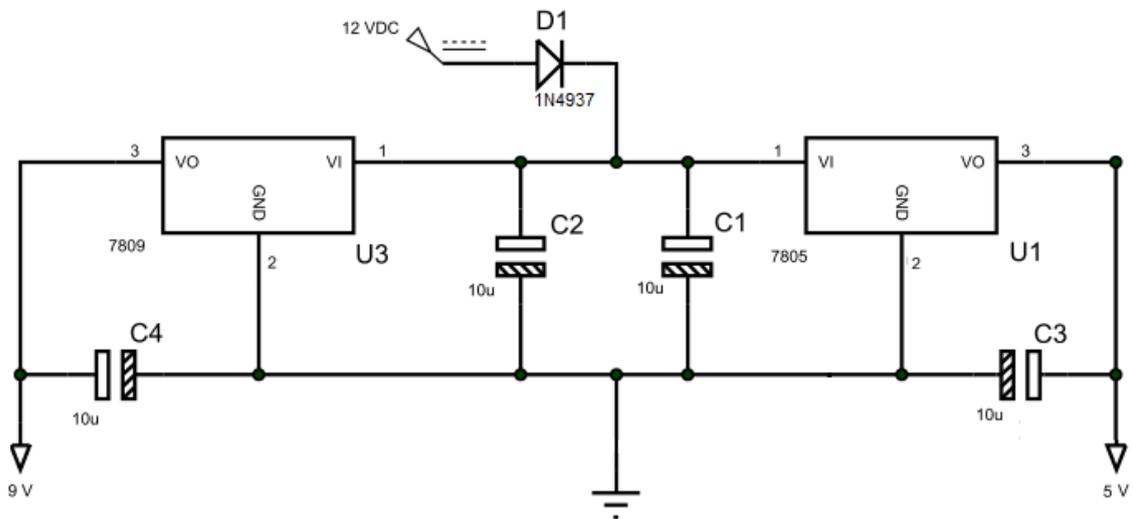
**Figura 2-** Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados.

O diagrama representado na figura 2 mostra dois tipos de ligações. Primeiro, entre cada sensor, a placa Arduino Mega e o display LCD são representadas as ligações para o transporte de sinais elétricos, que são enviados dos sensores/transdutores (podendo ser analógicos ou de pulso) para a placa Arduino Mega, onde são convertidos para a forma digital e processados. A partir desse momento o sinal passa a ser tratado como dado. Os dados processados em formato digital podem ser provenientes da placa Arduino Mega ou de qualquer módulo que possa gerar ou armazenar dados. Por último, as ligações de alimentação são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica para o funcionamento adequado de todo o sistema. A alimentação do sistema será proveniente de uma bateria chumbo-ácida, que gera uma tensão de 12 V e uma capacidade de 1,3 Ah; alguns dos equipamentos usados não podem ser submetidos a essa tensão, para isso serão utilizados dois reguladores de tensão que estabilizarão a mesma para o valor de 5 V e 9 V. Além de alimentar todo o circuito do

SAD, a bateria tem como finalidade fornecer tensão à placa Arduino, essa alimentação é reduzida pelo regulador de tensão para 9V.

Dessa forma, o circuito que regula a tensão de 12 V proveniente da bateria foi montado para que tanto a placa Arduino, quanto os sensores e equipamento que funcionam com tensão de 5 V possam funcionar de maneira adequada. Esse circuito é representado na figura 3 e os principais componentes do circuito são: o regulador de tensão 7805, fabricado pela *Fairchild Semiconductors*, responsável por gerar a queda no valor de tensão da bateria de 12 para 5 V; e o regulador de tensão 7809, também fabricado pela *Fairchild Semiconductors* e responsável por gerar a queda no valor de tensão da bateria de 12 para 9 V. Para a placa Arduino recomenda-se uma tensão de alimentação que pode variar entre 7 e 12 V, porém alimentando a placa diretamente com a tensão da bateria, houve um aquecimento demasiado do regulador de tensão interno do Arduino. Esse problema foi resolvido com a utilização do regulador de tensão 7809.

No circuito regulador da tensão de alimentação foram usados também quatro capacitores eletrolíticos de 10  $\mu$ F ligados à entrada e a saída de cada um dos reguladores e um diodo 1N4937. Os capacitores são utilizados para estabilizar a tensão da bateria enquanto que o diodo atua como uma proteção contra uma corrente invertida.



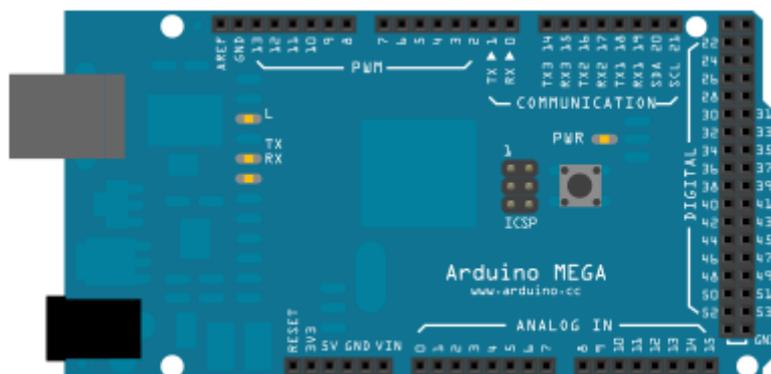
**Figura 3** – Representação do circuito regulador da tensão de alimentação

### 3.3 Placa Arduino Mega

O principal componente utilizado no SAD foi a placa Arduino Mega, que pode ser observada na figura 4, os demais são componentes discretos utilizados em eletrônica como reguladores de tensão, capacitores, diodos e resistores.

A placa Arduino utiliza um microcontrolador modelo ATmega2560 que possui uma memória *Flash* de 256 kB dos quais 36,35 kB foram utilizados pelo programa gravado, isso equivale a 14,2 % de sua capacidade total. Além disso o programa possui uma série de variáveis globais que ocupam 2,57 kB da memória SRAM (ou memória dinâmica) presente no microcontrolador, sendo que o máximo disponível é de 8 kB, isso significa que as variáveis globais ocupam um total de 32,12 % da memória dinâmica. Apesar de o programa utilizar apenas uma fração da memória disponível na placa Arduino Mega sua utilização foi necessária, pois outros modelos de placas similares não possuíam capacidade de armazenamento suficiente, como é o caso da placa Arduino UNO que possui apenas 32 kB de memória *Flash* e 2 kB de memória SRAM. O ATmega2560 possui 54 pinos digitais e 16 pinos analógicos, porém foram utilizados apenas 18 pinos.

Todo gerenciamento de busca e envio de dados ou instruções aos outros dispositivos é realizado na placa Arduino. As tarefas da placa são, coordenar a comunicação com os demais *hardwares* e gerenciar a leitura dos sensores e o armazenamento dos dados.



Fonte: <http://waihung.net/fritzing/>.

**Figura 4** - Placa Arduino Mega 2560.

O envio e a recepção de dados, da placa para os módulos e sensores, é realizado por canais de comunicação existente no microcontrolador, como as 4 saídas seriais do tipo RX/TX, também por meio dos pinos SPI (*Serial Peripheral Interface*) e até mesmo pelos pinos analógicos e digitais.

Os pinos seriais podem ser usados para comunicação entre a placa e um computador ou outros dispositivos. O módulo possui quatro portas seriais 5V TTL: Serial 0 nos pinos 0 (RX) e 1 (TX); Serial 1 nos pinos 19 (RX) e 18 (TX); Serial 2 nos pinos 17 (RX) e 16 (TX) e Serial 3 nos pinos 15 (RX) e 14 (TX).

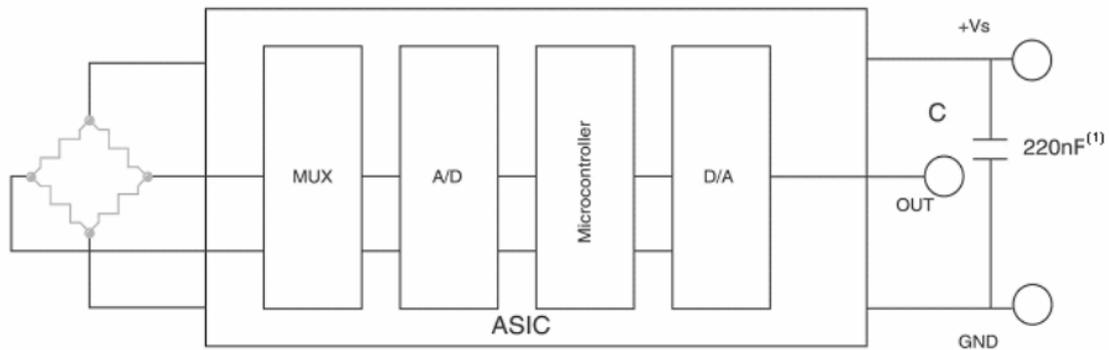
O SPI é um protocolo de transmissão de dados seriais síncrono usado pelo microcontroladores para se comunicar com os dispositivos periféricos rapidamente em distâncias curtas. Na ligação SPI há um dispositivo “mestre” (microcontrolador), que controla os dispositivos periféricos, denominados “escravos”. Nesse tipo de comunicação, existem três linhas comuns a todos os dispositivos: MISO (Mestre *In* Escravo *Out*), que é a linha em que os demais módulos enviam dados para o microcontrolador da placa; MOSI (Mestre *Out* Escravo *In*), que é a linha em que o microcontrolador envia dados para os periféricos; SCLK (*Clock Serial*) é a linha em que pulsos de *clock* sincronizam a transmissão de dados gerados pelo mestre; e SS (*SlaveSelect*), que é o pino que o dispositivo mestre utiliza para ativar ou desativar um dispositivos específicos.

Os pinos digitais do microcontrolador podem ser configurados com entrada ou saída de dados digitais. Os pinos analógicos podem ser configurados para receber dados analógicos, já que o microcontrolador da placa Arduino possui um conversor analógico/digital interno de 10 bits, retornando valores inteiros de 0 a 1023. O cuidado que se deve ter é que a máxima tensão que os pinos digitais ou analógicos podem tolerar é 5 V com uma corrente de no máximo 40 mA. Nos módulos que se comunicam com tensões superiores, serão utilizados divisores de tensão.

### **3.4 Sensor de pressão**

Na determinação da pressão de trabalho, utilizou-se um sensor ASDX100G2, fabricado pela Honeywell. Segundo as informações do fabricante esse sensor é alimentado com uma tensão de 5 V, e gera um sinal de saída analógico que varia entre 0,5 e 4,5 V, gerando um erro de aproximadamente 2 %. A placa Arduino Mega converte a tensão de saída do sensor para uma escala de digital. Por meio de uma correlação, a tensão de saída é associada linearmente a uma pressão que pode variar entre 0 e 100 psi. Essa correlação representa uma sensibilidade de  $0,04 \text{ V psi}^{-1}$ , que pode ser encontrada no *datasheet* do sensor. Com base nessa sensibilidade é possível determinar a equação ideal que representa a pressão em função da tensão emitida pelo sensor.

Para realizar conexão elétrica com os pinos de saída do sensor, utilizou-se a recomendação fornecida pelo fabricante, conforme figura 5.



Fonte: <http://elcodis.com/parts/3904631/ASDX100G24R-DO.html#datasheet>.

**Figura 5** – Diagrama de bloco para conexão do sensor de pressão.

### 3.5 Módulo GPS

O módulo de GPS utilizado foi o NEO-6M, fabricado pela U-blox. Desse dispositivo serão obtidas informações de latitude, longitude, data, hora e velocidade de deslocamento, esses parâmetros serão exibidos ao operador e armazenado em uma unidade de memória. As informações são enviadas do módulo GPS para o Arduino Mega por meio de uma conexão serial UART do tipo RX/TX sob a forma de dados de navegação utilizando o protocolo NMEA.

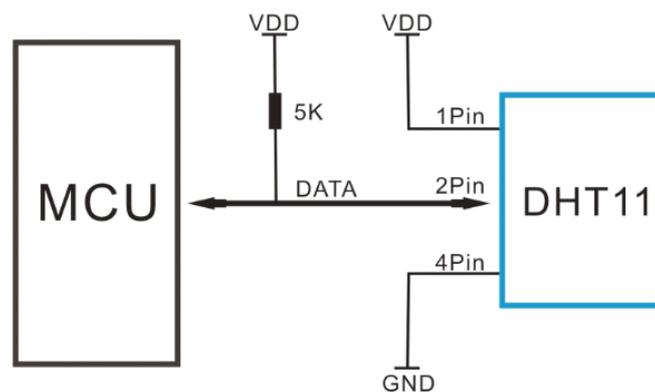
Suas vantagens incluem um baixo custo, tamanho compacto, exatidão e precisão que, segundo informações do fabricante, pode atingir 2,5 m. A exatidão e precisão devem ser verificadas com o objetivo de comprovar as informações informadas pelo fabricante.

### 3.6 Sensor de temperatura/umidade relativa do ar (UR)

Para realizar as medidas de temperatura e UR utilizou-se o sensor DHT11, produzido pela *Aosong Electronics*. Esse sensor é alimentado com uma tensão de 5 V e envia um sinal serial pulsado por uma única via que deve ser conectada a um pino digital da placa Arduino, esse sinal pulsado é decodificado pelo software e por fim serão obtidos os valores de temperatura e UR. Este processo de comunicação é feito em cerca de 4 ms. O processo de comunicação inicia-se quando o microcontrolador envia o sinal de início “*start signal*” para

o sensor, alterando o estado da linha para o modo de funcionamento. O microcontrolador aguarda a comunicação de resposta do sensor. Este envia ao microcontrolador um sinal de resposta com 40 bits de dados, que incluem o valor da umidade relativa (8 bits parte inteira e 8 bits parte decimal) e da temperatura (8 bits parte inteira e 8 bits parte decimal). Fazem parte ainda da resposta 8 bits de verificação (*check sum*). Uma vez concluído este procedimento o dispositivo irá colocar a linha em modo latente (*low-power-consumption mode*) até que se verifique novo pedido por parte do microcontrolador.

De acordo com as especificações técnicas do fabricante o sensor opera em um range de 0 a 50 °C com uma acurácia de 2 °C para temperatura e 20 a 90 % com acurácia de 4 % para UR. De acordo com o *data sheet* do fabricante, o pino de saída deve ser conectado à saída de 5 VDC por meio de um resistor, para que o sinal seja lido de forma correta. Essa ligação pode ser vista no diagrama de bloco da figura 6.



Fonte: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.

**Figura 6** – Diagrama de bloco para conexão do sensor de temperatura e UR.

### 3.7 Rotação na tomada de potência (TDP)

A rotação da tomada de potência (TDP) foi determinada de forma indireta, utilizando-se como referência a rotação do motor. A rotação do motor foi determinada utilizando-se o sinal W gerado pelo alternador. Esse sinal é normalmente utilizado em veículos diesel como referência para a medição da rotação do motor. A tensão obtida neste ponto, em relação ao negativo, equivale a aproximadamente metade da tensão do alternador (aproximadamente 7 V) e o sinal é uma retificação de meia onda feita dos diodos negativos do alternador. A rotação no eixo da TDP é diretamente proporcional à rotação do motor, essa relação de transmissão pode ser encontrada no manual de cada máquina. Como a rotação do

alternador está diretamente relacionada a rotação do motor, é possível determinar indiretamente a rotação da TDP com base na frequência emitida pela saída W do alternador. Os pulsos da saída W são enviados para uma porta digital do Arduino e são contabilizados em uma base de tempo igual a 1 s. O cálculo para a determinação da frequência de pulsos emitidos pelo alternador é realizado utilizando a equação 1.

$$F = \frac{n \cdot 60}{t} \quad (1)$$

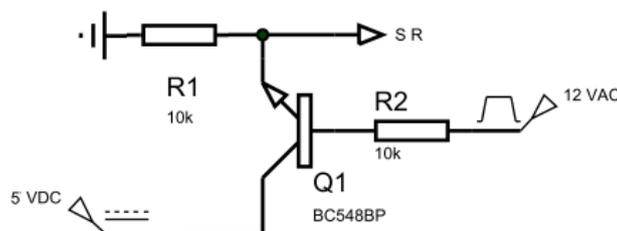
Em que: F = a frequência de pulsos emitidos pela saída W por minuto; n = ao número de pulsos totalizados na base de tempo; t = a base de tempo igual a 1 segundo e 60 é o fator de conversão de unidades.

Para determinar a rotação da TDP é necessário dividir a rotação do motor pela relação de transmissão mencionada no manual da máquina, essa determinação é obtida por meio da equação 2. A relação de transmissão do trator utilizado no ensaio de operação do SAD é igual a 3,52.

$$TDP = \frac{RM}{RT} \quad (2)$$

Em que: TDP = a rotação da tomada de potência em rpm; RM = a rotação do motor em rpm e RT = a relação de transmissão obtida no manual do trator.

O sinal emitido pela saída W é independente da alimentação do SAD, porém a tensão desse sinal é superior a 6 V e como as entradas digitais da placa Arduino suportam sinais com amplitude máxima de 5 VDC, foi necessário usar um circuito que possa transmitir os pulsos da saída W do alternador para um dos pinos digitais do Arduino de forma segura, evitando que a placa possa ser danificada. Para isso utilizou-se um transistor BC548 que é acionado com sinal pulsado da saída W e transmite os pulsos para o pino digital da placa Arduino. O circuito descrito pode ser observado no diagrama da figura 7.



**Figura 7**– Diagrama do circuito condicionador de sinal pulsado.

### 3.8 Módulo de armazenamento

Para o armazenamento dos dados utilizou-se um micro cartão SD devido ao seu baixo custo, elevada capacidade de armazenamento, facilidade de transporte, devido ao fato de ser largamente empregada em muitos equipamentos, possuir um elevado poder de conectividade e pode ser encontrada facilmente no mercado.

Para que o cartão SD possa se comunicar com o SAD, foi usada uma comunicação serial do tipo SPI (*Serial Peripheral Interface*). Segundo Texas Instruments, (2002) esse protocolo é uma porta síncrona de entrada e saída que possibilita um fluxo serial de bits, que podem ser enviados ou recebidos a uma taxa de transferência programada. De acordo com Intersil (2007) o protocolo SPI precisa de duas linhas de controle (SS e SCLK) e duas linhas de dados (MOSI e MISO). No SAD o pino SS identifica o módulo de armazenamento, o SCLK sincroniza a comunicação, o MOSI envia dados da placa para o módulo de armazenamento e o MISO envia dados do módulo para a placa Arduino Mega. Esse módulo será alimentado com 5 V pela própria placa Arduino.

### 3.9 Módulo de interface homem-máquina (IHM)

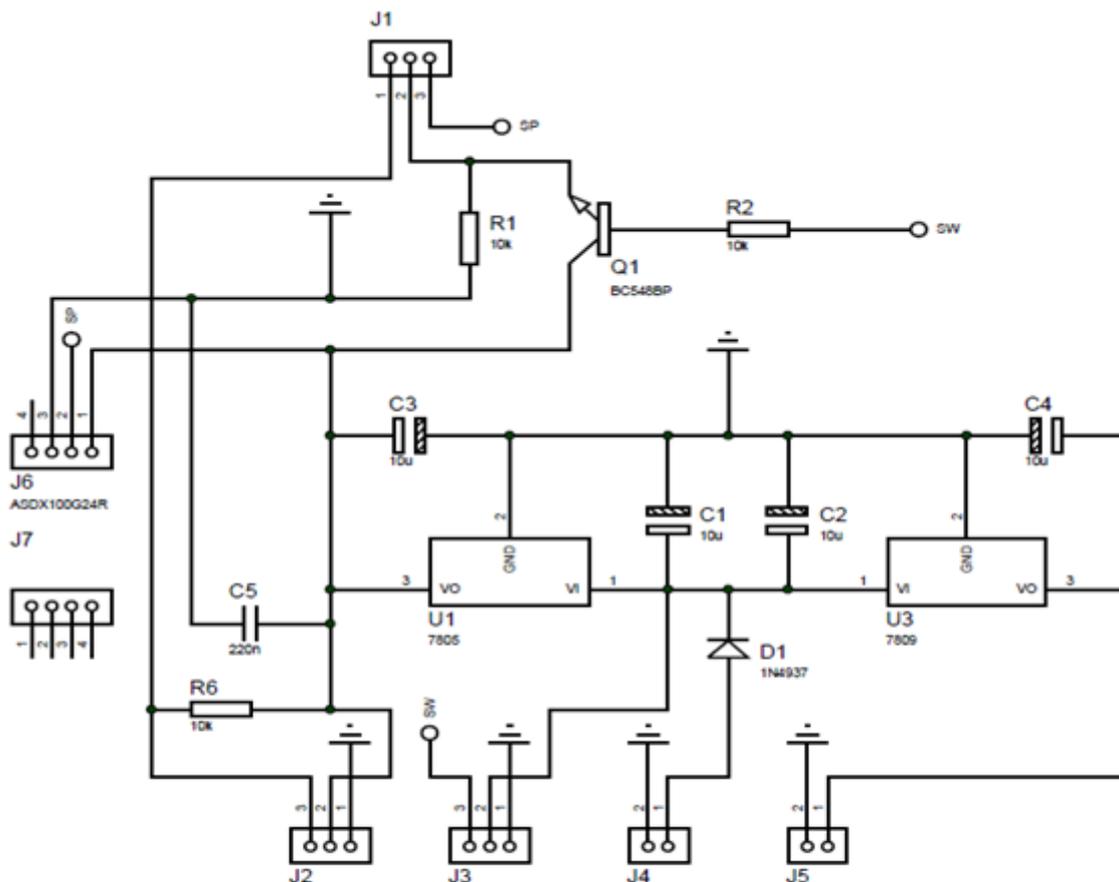
O SAD possui um sistema IHM composto por *display* LCD e teclas. Esses componentes têm dois propósitos, possibilitar a exibição de dados enviados para o microcontrolador e realizar a entrada de parâmetros necessários para configuração do SAD afim de determinar uma sequência de comandos.

Utilizou-se um *display* LCD com 20 colunas e 4 linhas para realizar a exibição dos parâmetros que serão inseridos para a configuração e que serão monitorados durante a operação de tecnologia de aplicação de agrotóxicos e também pela exibição dos dados enviados ao microcontrolador. Esse dispositivo deve ser conectado de forma paralela à placa Arduino, por isso o microcontrolador deve manipular vários pinos de interface ao mesmo tempo. Nesse tipo de conexão são usados pinos digitais para enviar dados do *display* LCD, além de um pino de alimentação com 5 V.

A entrada de parâmetro e a sequência de comandos são realizadas por um conjunto de três teclas, sendo duas direcionais e uma com função de “selecionar”, cada tecla será ligada a um pino digital que será usado como entrada. Quando o pino correspondente à tecla apresentar nível lógico alto indica que a tecla não foi pressionada, se indicar nível lógico baixo indica que a tecla foi pressionada.

### 3.10 Placa de circuito impresso (PCI)

Como os sensores utilizados necessitam dos próprios circuitos condicionadores de sinal e suas tensões de alimentação não serão fornecidas diretamente pela placa Arduino, foi confeccionada uma placa de circuito impresso contendo os componentes necessários para os sensores. Além dos circuitos condicionadores, foi adicionado o circuito regulador de tensão de alimentação que foi ilustrado na figura 3. O desenho do circuito foi impresso em uma placa de fenolite por meio de transferência térmica, como o desenho impresso a placa foi mergulhada em uma solução de perclorato de ferro. O diagrama elétrico da placa de circuito pode ser observado na figura 8.



Legendas						
	J1	J2	J3	J4	J5	J6
1	Saída (DHT11)	Terra	Terra	Entrada (12 V)	Saída (9 V)	Saída (5 V)
2	Saída (sinal W)	Saída (5 V)	Saída (12 V)	Terra	Terra	Entrada (ASDX100G24R)
3	Saída (ASDX100G24R)	Entrada (DHT11)	Entrada (sinal W)	-	-	Terra

**Figura 8** – Diagrama elétrico da placa de circuito.

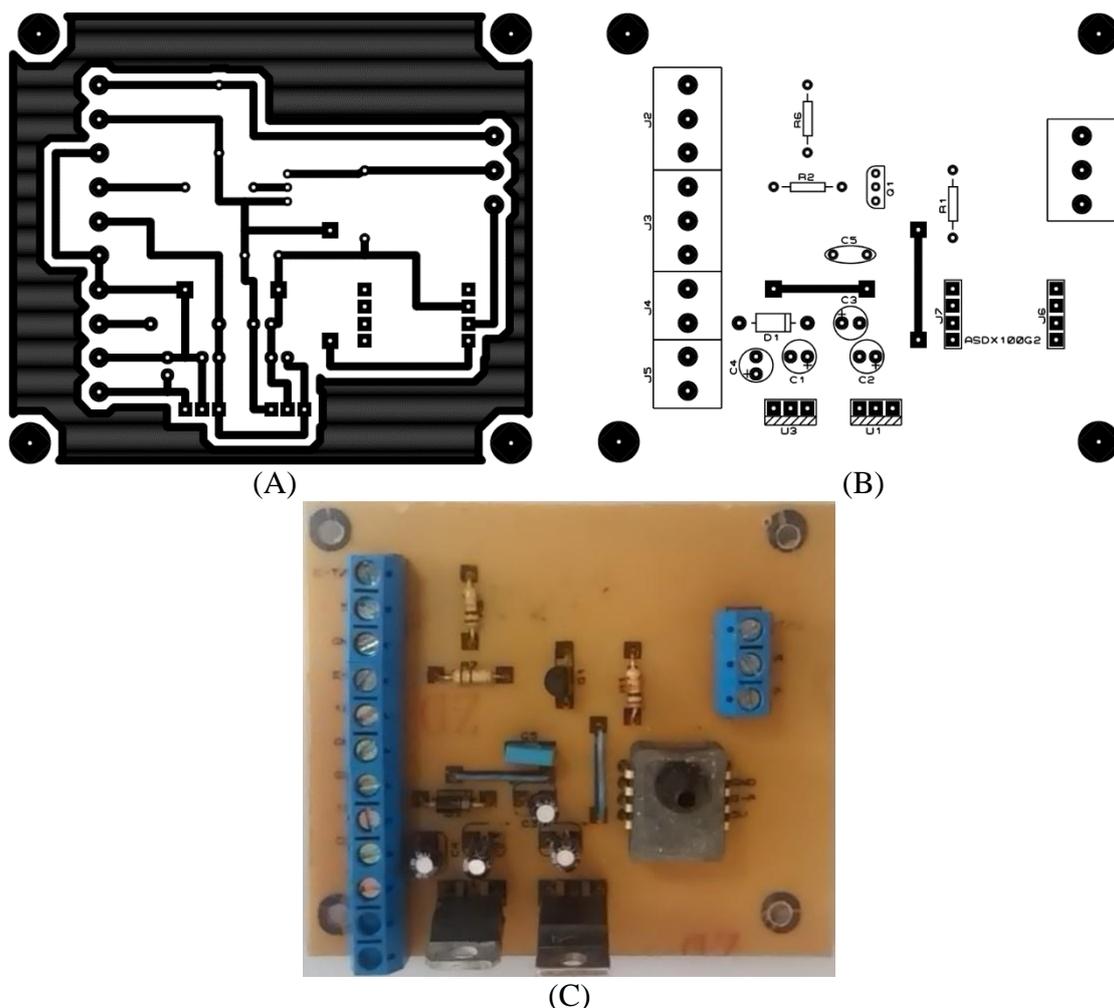
A placa de circuito impresso é formada por quatro sub circuitos, o circuito de alimentação, o circuito condicionador de sinal pulsado e os dois circuitos usados nos sensores, de pressão, temperatura e umidade relativa do ar.

No circuito de alimentação foram utilizados dois tipos de reguladores de tensão. Os reguladores mantêm a tensão de saída constante mesmo havendo variação na tensão de entrada, pode ser construído utilizando componentes simples ou podem ser obtidos como circuito integrado (CI). Os reguladores no formato de CI são mais seguros e compactos, favorecendo sua utilização. Os modelos que atendem as necessidades do SAD são o 7805 e o 7809, que regula a tensão de saída para 5 V e 9 V, respectivamente.

Além dos reguladores de tensão foram utilizados capacitores eletrolíticos de 10  $\mu$ F e 25 V, utilizados para filtrar as tensões de alimentação. E um diodo 1N4937, que atua como proteção contra possíveis correntes invertidas.

Para implementar os circuitos usados para condicionar sinais pulsados, conectar o sensor DHT11 e conectar o sensor ASDX100G2 foram utilizados componentes discretos como, resistores de 10 k $\Omega$ , um capacitor de poliéster de 220 nF e um transistor BC548B. O transistor BC548B é usado para transmitir os pulsos da saída W do alternador para um pino digital do Arduino de forma segura. Este componente possui três terminais, o coletor (C) que receber um sinal de 5 V, a base (B) que recebe o sinal pulsado da saída W e o emissor (E) que envia um sinal seguro de 5 V para o Arduino quando a base é gatilhada.

Com base no diagrama elétrico mostrado na figura 8, foi elaborado o *layout* da placa que foi impresso em papel fotográfico e transmitido para uma placa de fenolite por meio de transferência térmica. O *layout* da PCI (Placa de Circuito Impresso) é dividido em três *layers*, um com todas as trilhas de cobre da parte inferior que ligam os componentes e os outros dois como as legendas e marcações de cada componente, sua utilidade é indicar a posição de cada componente na placa. O *layer* com as trilhas é o mais importante, uma vez que foi nele onde os componentes foram efetivamente soldados. Esse *layer* foi transferido para a parte cobreada da placa e os demais *layers* foram transferidos para a outra face da placa, que não possui cobre. Os *layers* descritos podem ser observados nas figuras 9A e 9B.



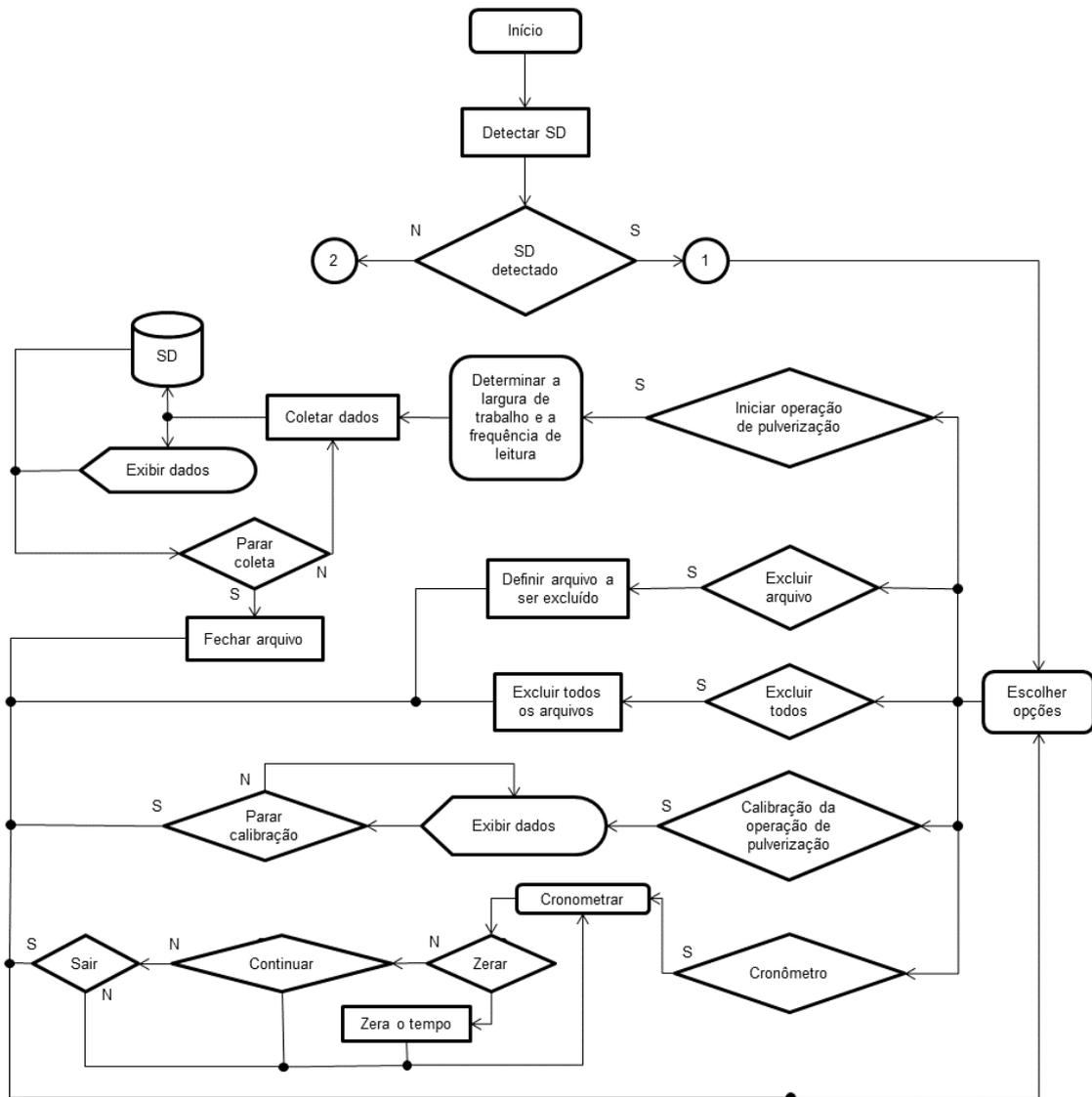
**Figura 9** – Placa de circuito impresso (A) trilhas de cobre da parte inferior (B) trilhas de cobre e legendas da parte superior (C) placa finalizada.

### 3.11 Software

O *software* do microcontrolador foi desenvolvido para processamento dos sinais elétricos recebidos pela placa que foram gerados pelos sensores de pressão e temperatura/umidade relativa do ar, pela saída W do alternador e pelo *Shield* de GPS. No programa o usuário tem uma sequência de opções que estão relacionadas ao tipo de atividade que se deseja realizar, dessa forma o operador pode realizar calibração do pulverizador e gravar ou apagar informações. O SAD contempla, através do programa, a possibilidade de cinco opções diferentes relacionadas à operação de aplicação de produtos fitossanitários.

A Figura 10 apresenta um fluxograma que mostra o estado inicial do SAD, representado o processo que verifica se o cartão SD está conectado ou desconectado do sistema e também todas as opções que podem ser realizadas pelo sistema.

Caso o sistema detecte um cartão SD conectado, o fluxo tomará a direção 1, onde todas as atividades do sistema estão disponíveis, em destaque aquelas que necessitam da utilização do cartão SD, como é o caso da opção de iniciar operação de pulverização e das opções de excluir arquivos.



**Figura 10** – Fluxograma representativo para cartão SD conectado.

Caso contrário, se o SAD não detectar um cartão SD conectado ao sistema, o fluxo de processos será desviado para a direção 2 do fluxograma, esse fluxo tem o mesmo formato visto na figura 10, porém apenas com as opções iniciar operação de pulverização, calibração da operação de pulverização e cronômetro, sendo que a opção de operação será realizada com limitações, pois sem o cartão de memória os dados da operação não serão armazenados.

### 3.12 Programação do Arduino

A placa Arduino Mega será programada para executar todas as atividades de monitoramento, exibição e armazenamento dos dados monitorados pelo SAD. Para desenvolver o programa do microcontrolador utilizou-se uma plataforma de código aberto Arduino Software IDE 1.6.1, do inglês *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, que é um software livre no qual o código é escrito em uma linguagem C.

Essa ferramenta é um ambiente de trabalho para a programação do Arduino, ela apresenta um editor de código e ferramentas para gravação, debug e compilação.

### 3.13 Ensaio dos sensores

Com relação à calibração dos sensores, o sensor de pressão, o sensor de temperatura e o circuito receptor de sinal pulsado foram calibrados. Para a calibração do sensor de pressão, o ASDX100G2 foi ensaiado juntamente com um manômetro de precisão onde ambos foram submetidos à mesma pressão, que variou de 0 a 7 bar. Os valores de tensão em mV gerados pelo sensor e medidos por meio de um multímetro digital foram comparados com os resultados de pressão obtidos com manômetro de precisão. Com esse conjunto de dados foi determinada a equação de correlação entre a tensão e a pressão.

Para calibrar o sensor de temperatura DHT11 foi utilizado um sensor padrão utilizado em uma estação meteorológica, o sensor padrão foi Hmp45 fabricado pela vaisala e seu dados eram coletados e armazenados pelo *datalogger* CR3000 da campbell scientific nesse ensaio os equipamentos foram submetidos à mesma temperatura por um período de 42 h, em cada termômetro foram realizadas leituras a cada 15 segundos. Com esse conjunto de dados foi determinada a equação de correlação entre a temperatura do sensor DHT11 e a do sensor Hmp45.

Para o ensaio do circuito receptor de sinal pulsado foi utilizado um dispositivo de medição e instrumentação, NI myDAQ, da National Instruments, o qual dispõe de um osciloscópio digital com dois canais e um gerador de funções e software NI ELVISmx para controle e monitoramento. Este equipamento gera um sinal pulsado de até 10 V, dessa forma o sinal gerado pelo osciloscópio pode ser comparado com o sinal recebido pelo Arduino por meio do circuito receptor. Nesse ensaio o circuito receptor monitorava o sinal pulsado gerado pelo osciloscópio, durante o ensaio a frequência desse sinal variou de 10 a 5.000 Hz. Com

esse conjunto de dados foi possível verificar a exatidão e precisão com que o circuito receptor monitorava o sinal emitido

Para realizar ensaios com o GPS utilizado no SAD foi usado como parâmetro o GPS da *Garmin* modelo 76CSx. Com os aparelhos posicionados no mesmo local foram coletadas as coordenadas do ponto. O local escolhido para o ensaio foi a estação geodésica 92426 localizada no IFRN em Mossoró/RN, a latitude e a longitude dessa estação foram obtidas no site do IBGE e são respectivamente  $05^{\circ} 12' 48,9758''$  S e  $37^{\circ} 19' 06,6786''$  W. O GPS 76CSx coletou pontos a cada um segundo e no fim do procedimento armazena apenas a média dos pontos coletados. O GPS do equipamento, modelo u-Blox Neo 6m, também coleta as coordenadas a cada segundo e salva todas elas em um arquivo de texto, dessa forma ao fim do período de coleta de dados, que durou 15 minutos, cada equipamento coletou aproximadamente 900 pontos. Com o GPS da *Garmin* o único valor armazenado é a média de cada coordenada, por isso foi feita uma média dos pontos coletados pelo GPS do SAD para que essas coordenadas fossem comparadas utilizando o aplicativo *Google Earth*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Protótipo do SAD

Para montar o protótipo do SAD, os equipamentos que compõem o hardware foram dispostos dentro de uma caixa de acrílico. Esse material foi escolhido por ser resistente leve e fácil de ser trabalhado, o valor do acrílico é mais elevado que alguns modelos de caixa encontrados no mercado, porém possui a vantagem de poder ser projetada especialmente para receber os equipamentos.

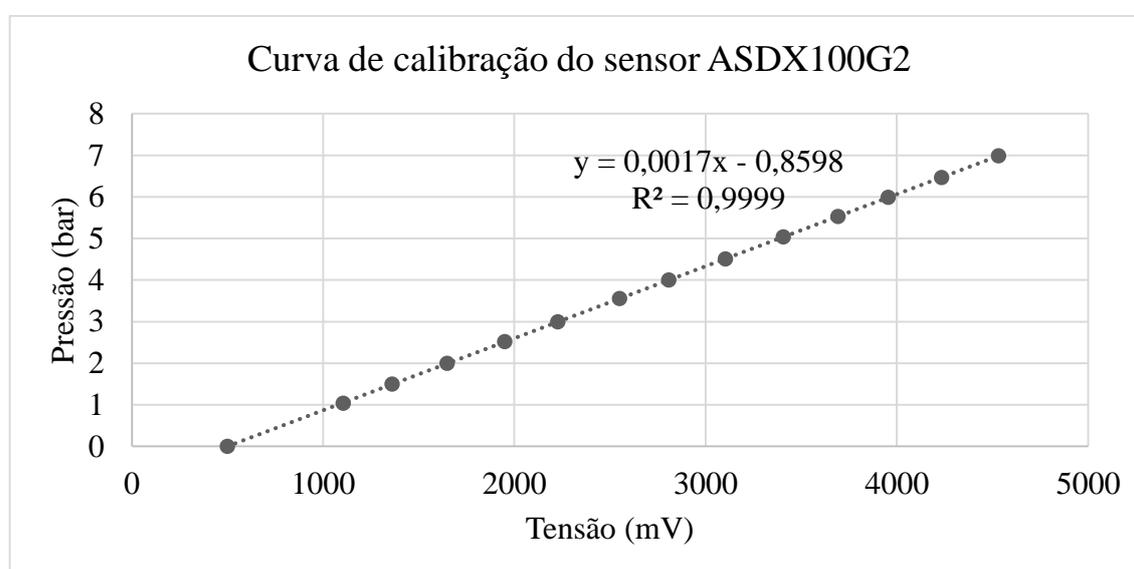
Na parte interna da caixa ficaram dispostos o módulo GPS, o microcontrolador Arduino, a placa de circuito impresso e a bateria para alimentação. Na parte frontal serão dispostos a tela de LCD e as teclas direcionais, onde o operador pode visualizar as opções do menu e selecionar a operação desejada. Isso pode ser observado na figura 11.



**Figura 11** – Imagem frontal do SAD.

## 4.2 Resultado da calibração do sensor de pressão

Com os valores obtidos com esse ensaio foi elaborado o gráfico da figura 12, onde pode ser observada a equação de calibração que relaciona tensão de saída do ASDX100G2 e a pressão verificada no sensor de precisão. É possível verificar que a correlação entre os dados obtidos foi muito elevada com valor de  $R^2$  de 0,9999, isso significa que a variação de pressão em função da diferença de potencial é linear e crescente, e que representa os valores de pressão com ótima precisão, podendo ser considerado como ótimo para o monitoramento de pressão de trabalho durante a operação de pulverização.



**Figura 12** – Pressão (Bar) obtida com o manômetro de precisão versus tensão de saída (mV) do sensor ASDX100G2

Antes que a equação fosse incorporada ao programa ela precisou sofrer algumas modificações. Como o conversor analógico digital do Arduino Mega é de 10 bits, ele converte os valores de tensão do sensor em 1024 nível, como as entradas analógicas do sensor podem receber valores de tensão entre zero e 5 V, cada nível é equivalente a uma tensão de 4,8876 mV. Outra modificação na equação ocorre com relação à unidade utilizada no ensaio, a unidade do manômetro de precisão é o Bar, porém foi decidido transformar a unidade de saída da equação para psi, já que essa unidade é usualmente encontrada nos manômetros dos pulverizadores. Dessa forma a equação de calibração da pressão usada no programa é mostrada na equação 3.

$$P = 0,1228n - 12,471 \quad (3)$$

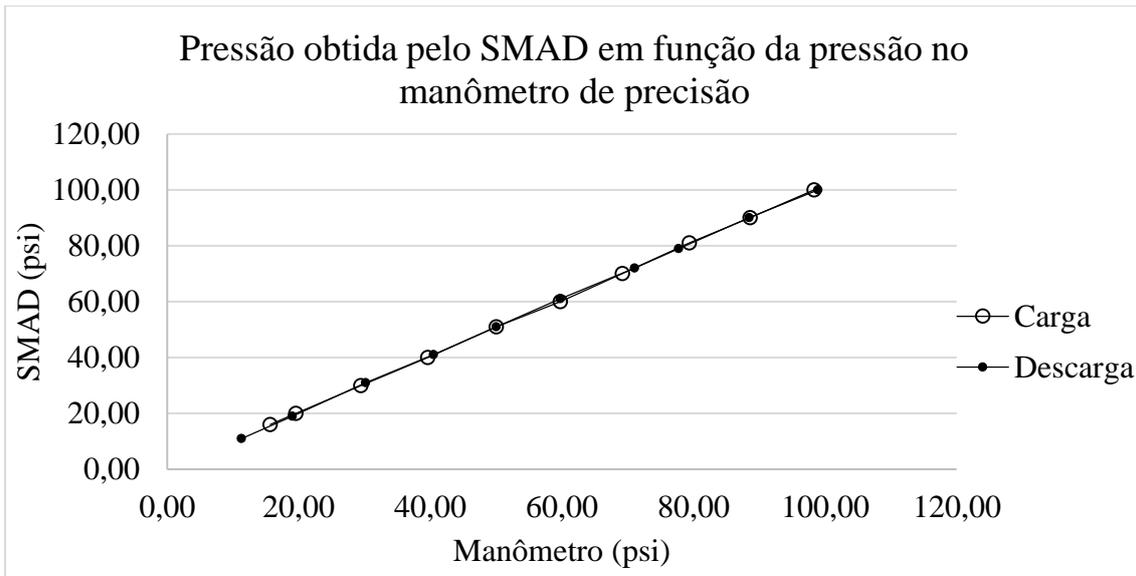
Em que: P = representa o valor calibrado da pressão em psi; n = valor obtido pelo conversor analógico digital em níveis.

Para validar o sensor de pressão usado no SAD, foi realizado mais um ensaio com o manômetro de precisão, dessa vez o sensor de pressão do SAD na escala de pressão obtida pela equação 3, foi submetido à mesma pressão que o manômetro de pressão e os valores de pressão obtidos pelos dois equipamentos foram comparados. Esse ensaio foi realizado aumentando gradativamente a carga de pressão e em seguida diminuindo gradativamente a carga de pressão, dessa maneira foi possível verificar a presença de histerese no sensor. Os resultados do ensaio podem ser observados na tabela 1.

**Tabela 1** – Ensaio de validação do sensor de pressão.

<b>Carga</b>			<b>Descarga</b>		
<b>SAD (psi)</b>	<b>Manômetro (psi)</b>	<b>Erro (%)</b>	<b>SAD (psi)</b>	<b>Manômetro (psi)</b>	<b>Erro (%)</b>
16,00	15,66	-2,15	100,00	98,92	-1,10
20,00	19,58	-2,15	90,00	88,47	-1,73
30,00	29,44	-1,89	79,00	77,74	-1,62
40,00	39,60	-1,02	72,00	71,07	-1,31
51,00	50,04	-1,92	61,00	59,76	-2,08
60,00	59,76	-0,41	51,00	50,04	-1,92
70,00	69,18	-1,18	41,00	40,47	-1,32
81,00	79,34	-2,10	31,00	30,17	-2,76
90,00	88,62	-1,56	19,00	19,00	0,00
100,00	98,34	-1,69	11,00	11,31	2,77

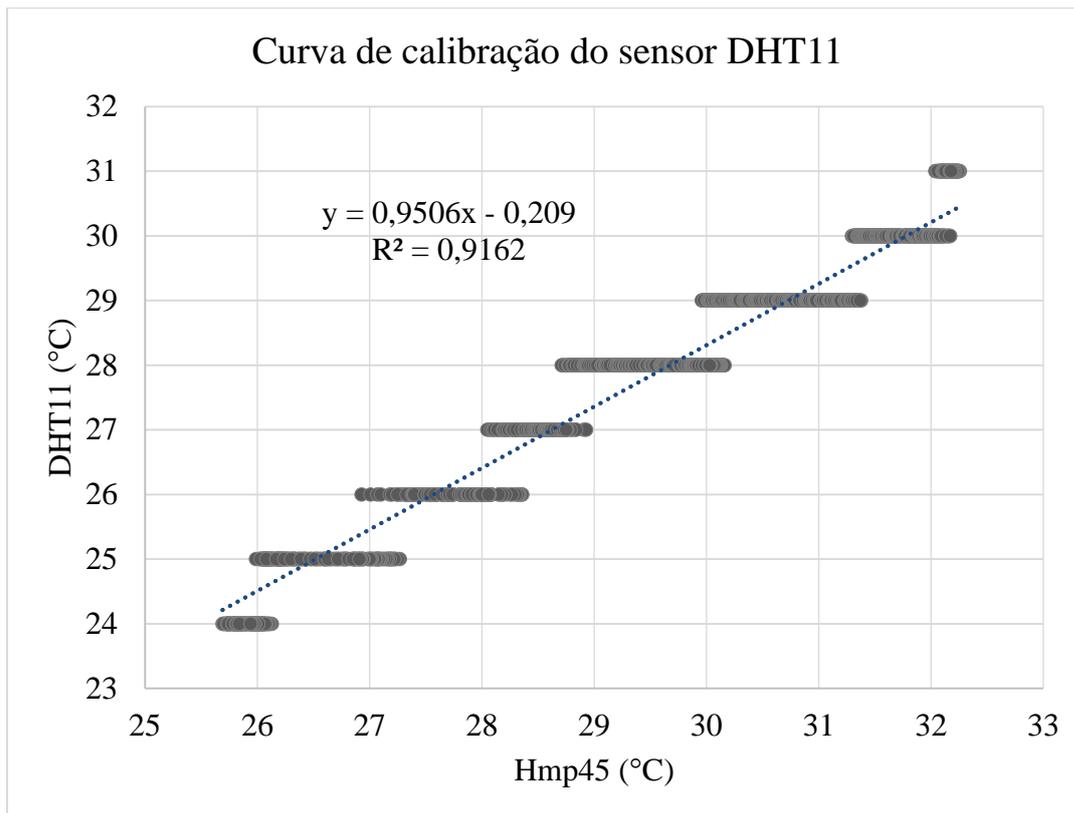
As primeiras colunas do quando 1 representam o ensaio feito com a pressão sendo aumentada gradativamente, as últimas colunas representam o ensaio onde a pressão foi gradativamente sendo diminuída. Pode-se notas que em nenhum dos ensaios o erro de leitura do SAD comparados ao manômetro de precisão superou os 3%. Com esse quadro foi possível elaborar o gráfico da figura 13, onde pode-se perceber que a histerese do sensor usado no SAD pode ser considerada desprezível.



**Figura 13** – Gráfico da pressão obtida pelo SAD em função da pressão obtida pelo manômetro de precisão.

#### 4.3 Resultado da calibração do sensor de temperatura

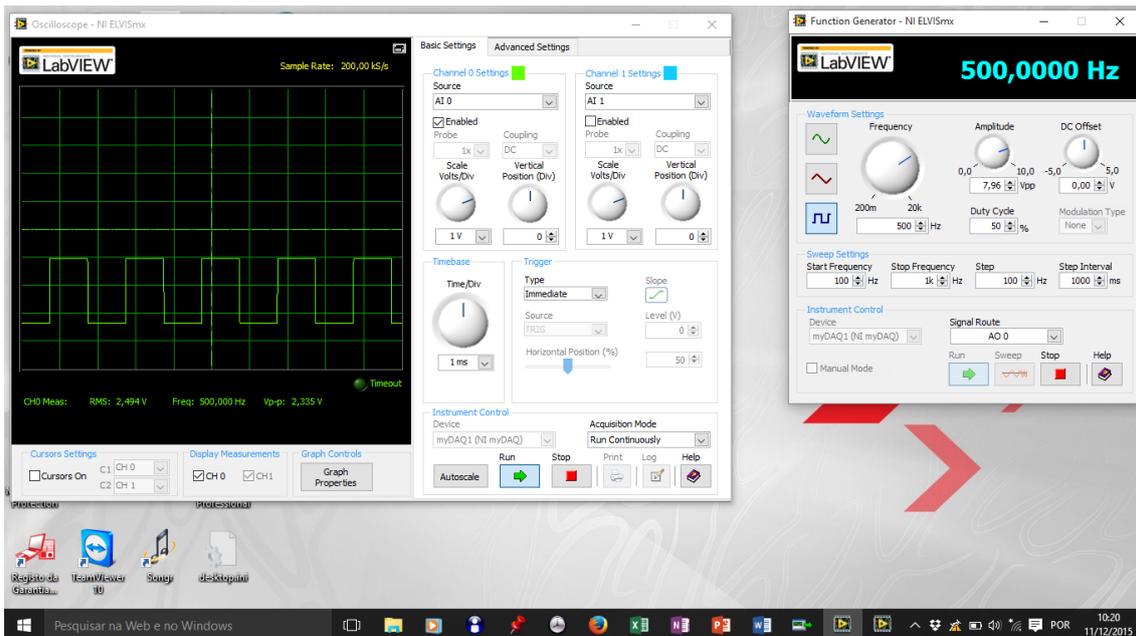
Com os valores obtidos com esse ensaio foi elaborado o gráfico da figura 14, onde pode ser observada a equação de calibração que relaciona temperatura registrada pelo sensor DHT11 e a temperatura verificada no sensor de Hmp45. Pode-se perceber que a temperatura observada pelo DHT11 se relaciona com a temperatura do sensor Hmp45 de maneira linear e crescente e possui uma boa correlação com um valor de  $R^2$  de 0,9162. A equação obtida representa os valores de pressão com boa precisão, podendo ser considerado como adequado para o monitoramento da temperatura ambiente durante a operação de pulverização.



**Figura 14** – Gráfico da temperatura obtida pelo sensor DHT11 em função da temperatura obtida pelo sensor Hmp45.

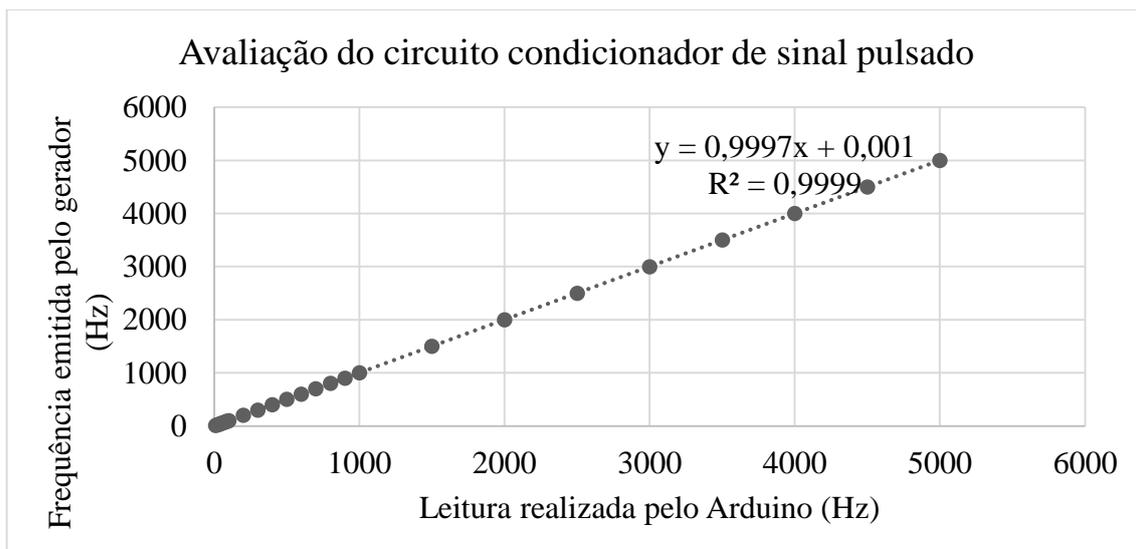
#### 4.4 Avaliação do circuito condicionador de sinal pulsado

Na avaliação do circuito condicionador de sinal pulsado, representado pelo diagrama da figura 7, foram gerados sinais pulsados de 10 V de pico como frequências entre 10 e 5.000 Hz, utilizando o gerador de função do NI myDAQ. Com auxílio do osciloscópio incorporado no referido equipamento comparou-se os valores fornecidos pelo gerador de função com os valores lidos pela placa Arduino por meio da saída do circuito condicionador de sinal pulsado. A figura 15 representa o ensaio realizado com o osciloscópio em 500 Hz.



**Figura 15** - Captura de tela do ensaio realizado com osciloscópio NI myDAQ.

Com os valores obtidos com esse ensaio elaborou-se o gráfico da figura 16, onde pode ser observada a equação que compara a frequência emitida pelo gerador de funções com os valores de frequência condicionados pelo circuito. Verifica-se que a correlação entre os dados obtidos foi muito elevada com valor de  $R^2$  de 0,9999, isso significa que o sinal pulsado que passa pelo circuito construído é transmitido de forma precisa ao pino digital do Arduino, podendo ser considerado como ótimo para o monitoramento da frequência de pulsos emitidos pela saída W do alternador.

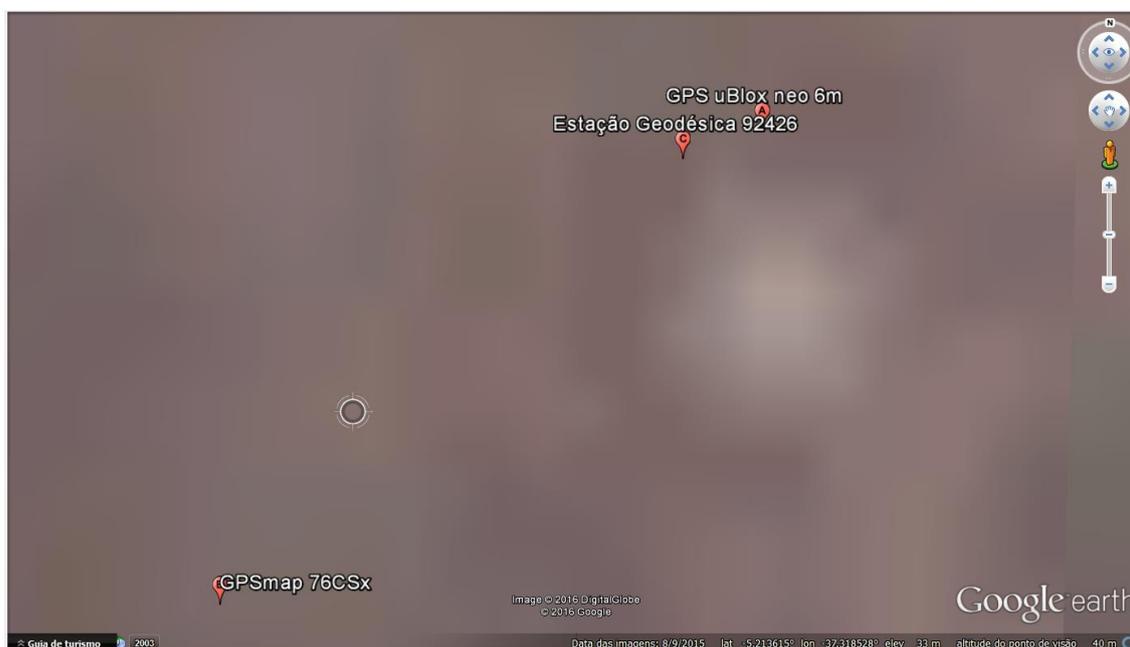


**Figura 16** – Frequência emitida pelo gerador de versus contabilização de pulsos realizada pelo Arduino.

## 4.5 Ensaio com GPS

Após a realização dos ensaios com o GPS utilizado no SAD pode ser observado na figura 17 que os pontos médios dos dois equipamentos estão bastante próximos, com um erro relativo entre eles de aproximadamente 5 m, isso significa que o erro do GPS u-Blox Neo 6m pode ser considerado compatível com o erro gerado pelo GPS 76CSx. Com os 900 valores de latitude e longitude armazenados pelo GPS testado determinou-se que o desvio padrão foi de  $3,98 \times 10^{-6} \text{ }^\circ$  para latitude e  $4,61 \times 10^{-6} \text{ }^\circ$  para longitude, isso significa que houve pouca dispersão dos dados. Outra observação foi que o ponto obtido pelo SAD possui uma distância de 0,6 m da estação geodésica, enquanto que ponto observado pelo GPS da Garmin ficou a uma distância de 4,45 m da mesma estação.

É importante mencionar também que as unidades de todas as coordenadas recebidas pelo GPS utilizado no SAD estão expressas em graus e são representadas com uma precisão de cinco casas decimais, na prática isso significa que dois pontos consecutivos capturados pelo GPS possuem uma distância máxima entre eles de 1,11 m.



**Figura 17** – Coordenada média de cada GPS exibida no Google Earth.

## 4.6 Ensaio de operação do SAD

Para testar as funcionalidades do SAD, realizou-se uma operação simulada de pulverização em campo, onde utilizou-se apenas água no tanque do pulverizador. Durante o

procedimento todos os sensores foram conectados ao SAD e a opção operação, descrita no item 4.2.1, foi selecionada e o intervalo de gravação dos dados escolhido foi de cinco segundos. Os dados dos sensores, a velocidade de deslocamento da máquina e as coordenadas geográficas foram armazenados no cartão SD em um arquivo de texto. Juntamente com o SAD, os dados das coordenada geográficas foram armazenados pelo GPS 76CSx para que as trajetórias da operação obtidas pelos dois equipamentos pudessem ser comparadas. Os pontos coletados pelos dois equipamentos foram plotados no aplicativo *Google Earth*, figura 18, sendo que os pontos brancos foram obtidos pelo GPS 76CSx e os pontos verdes forma obtidos pelo GPS u-Blox Neo 6m. Como já era esperado as trajetórias não foram exatamente iguais, isso ocorre devido ao erro inerente aos dois equipamentos, apesar disso essa trajetória representa de forma satisfatória a área trabalhada.



**Figura 18** – Trajetória realizada durante o ensaio de campo.

O trator utilizado na operação de pulverização foi um Massey Ferguson modelo MF 250XE, A operação foi realizada utilizando três marchas, a 2ª marcha (3,8 km/h), a 3ª marcha (7,0 km/h) e a 4ª marcha (8,6 km/h). Durante a operação as médias de velocidade para cada uma das marchas utilizadas foram, respectivamente 3 km/h, 5,5 km/h e 7,8 km/h. A velocidade média obtida pelo GPS apresenta valores sempre menores que as velocidades estimadas pelo manual, isso ocorre pelo fato da velocidade estimada no manual não levar em consideração a patinagem dos rodados do trator nas condições de campo. Os dados completos da operação gravados no cartão de memória são mostrados no quadro do anexo A.

#### 4.7 Ensaio de avaliação da velocidade média com GPS

Para avaliar melhor os dados de velocidade obtidos pelo SAD, foi realizado outro ensaio em campo, onde foi utilizado o Trator John Deere 6110J para percorrer uma distância de aproximadamente 50 m e os dados de velocidade média obtidos pelo GPS foram comparados com os dados de velocidade média real calculados com base tempo e na distância percorrida em campo, medida com auxílio de trena. O ensaio foi realizado em uma área pavimentada, para reduzir a patinação do trator, e a distância percorrida foi baseada na operação “Calibração” descrita no item 4.2.4. Os resultados desse experimento podem ser observados na tabela 2.

**Tabela 2** – Médias das velocidades obtidas pelo GPS em cada etapa da operação.

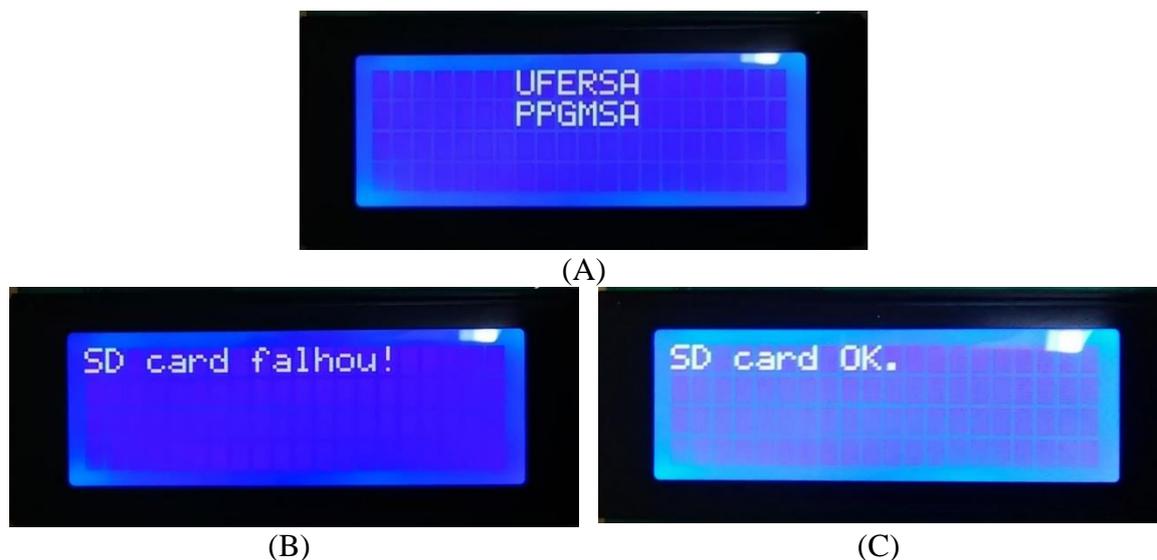
Marcha	Distância obtida por GPS (m)	Distância real (m)	Tempo (s)	Velocidade teórica (km/h)	Velocidade média obtida pelo GPS (km/h)	Velocidade calculada (km/h)	Erro (%)
1A	50,19	50,85	77,68	2,50	2,33	2,36	1,13
2A	50,30	51,45	65,07	3,00	2,79	2,85	1,98
3A	50,57	51,90	55,12	3,60	3,31	3,39	2,35
4A	51,04	52,00	44,81	4,40	4,10	4,18	1,86

Como pode ser observado no quadro 1, o procedimento foi repetido quatro vezes nas marchas mais lentas do trator, a segunda e a terceira coluna do quadro representam respectivamente, a distância percorrida obtida pelo SAD e a distância real medida em campo. A coluna de tempo representa o tempo gasto em cada etapa. A velocidade teórica é encontrada no manual do próprio trator e serve para que se tenha uma ideia da velocidade que o trator terá em cada marcha. A coluna seguinte representa a velocidade média obtida pelo GPS e logo após está a velocidade real calculada. Comparando essas duas últimas colunas pode-se notar que o erro obtido não foi superior a 2,35 %.

#### 4.8 Funcionamento do SAD

Quando o sistema é inicializado a tela de inicialização exibe as mensagens como mostrado na figura 19A. Em seguida o sistema verifica se o cartão para armazenamento de dados está presente ou ausente, como mostrado nas figuras 19B e 19C. Dependendo da

situação a rotina do programa é desviada para um dos caminhos mostrados no fluxograma da figura 10. Se o cartão SD for detectado as funções do sistema “Operação”, “Excluir arquivo”, “Excluir todos”, “Calibração” e “Cronômetro” serão executadas como mostra o fluxograma da figura 10, caso contrário as funções do sistema utilizadas para excluir arquivos não serão executadas.



**Figura 19** – Tela de apresentação (A) tela que representa o cartão SD não detectado (B) tela que representa o cartão SD detectado (C).

#### 4.9 Atividade realizadas com o cartão SD conectado

Uma vez que o cartão SD foi detectado será exibida a tela “MENU PRINCIPAL”, este menu é simplificado para que o operador possa utiliza-lo com facilidade, minimizando um eventual erro e agilizando o processo. O menu é dividido em cinco opções: Operação, Excluir arquivo, Excluir todos, Calibração e Cronômetro, como exibido na figura 20.

Como o *display* possui um número limitado de quatro linhas o operador deverá interagir com o SAD utilizando as teclas direcionais (para cima ou para baixo) para visualizar todas as opções do menu. No lado esquerdo do *display*, é exibida uma seta que se movimenta conforme as teclas direcionais são pressionados para indicar qual a opção escolhida. Uma vez selecionada a opção desejada deve-se pressionar a tecla *enter* para que a mesma seja confirmada.

A rotina responsável pela detecção de qual opção do menu principal foi selecionada gera uma variável que recebe um valor para cada uma das opções disponíveis. Essa variável será usada para definir qual sub-rotina será executada, dentre as que são mostradas no fluxograma da figura 10.

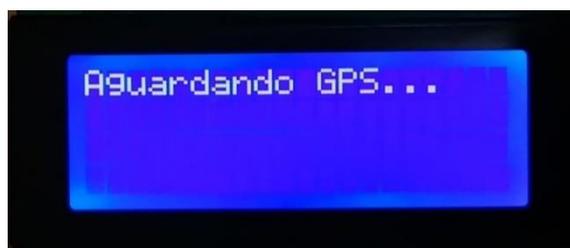


**Figura 20** – Telas com opções do menu principal.

#### 4.9.1 Opção operação

Essa opção deverá ser selecionada quando o operador for realizar uma operação de aplicação de agrotóxicos em uma determinada área. Nessa opção serão exibidas no LCD as informações de velocidade de deslocamento, temperatura, umidade relativa do ar, pressão de trabalho e rotação da TDP. Todos os dados mostrados ao operador durante a operação e mais os dados de frequência de armazenamento, data e hora da operação, largura de trabalho e também as coordenadas geográficas de onde se encontra o conjunto serão gravadas no arquivo.

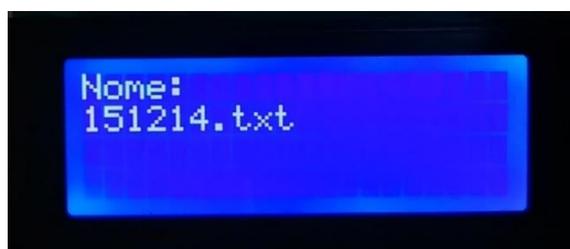
A primeira atividade realizada na opção “Operação” é a detecção do sinal enviado pelo GPS, caso o sistema tenha sido ligado a pouco tempo esse sinal pode demorar um certo tempo para ser detectado, esse tempo gira em torno de um minuto. Uma tela com a informação “Aguardando GPS”, como mostra a figura 21 é exibida para o operador, permanecendo ativa até que o sinal seja recebido pelo SAD.



**Figura 21** – Tela de espera para o sinal do GPS.

Enquanto o SAD aguarda o sinal do GPS nenhuma ação será executada. Após a recepção do sinal do GPS o sistema exibirá uma tela mostrando o nome do arquivo, o qual é composto por aammdd.txt (aa-ano, mm-mês e dd-dia), como mostra a figura 22. Se o sinal do GPS não for detectado o arquivo gerado será nomeado como 000000.txt. Caso o problema

na comunicação com o GPS persista, haverá comprometimento dos dados de latitude, longitude, velocidade, data e hora. Isso mostra a importância do GPS para essa opção.



**Figura 22** – Definição do nome do arquivo.

Depois de nomeado o arquivo onde os dados serão armazenados, dois parâmetros de configuração serão requisitados ao operador antes que se inicie a operação de aplicação e a coleta de dados. O primeiro deles requer o intervalo de gravação dos dados. Os valores possíveis são predefinidos e pode variar entre uma vez a cada segundo até uma vez a cada 15 segundos, sempre variando de um em um segundo. O intervalo mínimo é limitado pela frequência de comunicação do GPS, que envia novos dados a cada um segundo. Na figura 23 encontra-se a tela onde o intervalo de leitura é definido. Para alterar os valores deve-se utilizar as teclas direcionais até chegar ao valor desejado e em seguida pressionar a tecla *enter*.



**Figura 23** – Tela onde o intervalo de gravação é definido.

O segundo parâmetro requer a largura de trabalho, da mesma forma que o primeiro parâmetro, são fixados valores para a largura de trabalho, que representa o comprimento da barra do pulverizador. Os valores predefinidos podem variar entre seis e dezoito metros, com intervalos de 0,5 m. A largura de trabalho representa o comprimento da barra do pulverizador onde as pontas de pulverização são fixadas. Na figura 24 encontra-se a tela onde a largura de trabalho deve ser ajustada pelas teclas direcionais e selecionada com a tecla *enter*.



**Figura 24** – Tela onde a largura de trabalho é definida.

Após os dois parâmetros serem informados, o SAD inicia o monitoramento, exibição e armazenamento dos dados. Para cada coleta de dados é inserido um cabeçalho com os parâmetros da operação. Esses parâmetros são a data da operação, o intervalo de gravação dos dados e a largura de trabalho.

Os dados obtidos de cada sensor são gravados no arquivo de texto criado em forma de linhas e colunas. Cada linha gravada representa os dados coletados em uma varredura completa feita nos sensores acoplados ao sistema, essa varredura é repetida dentro do intervalo definido. No arquivo de texto cada coluna representa uma informação específica a respeito da operação que está sendo executada. As informações são dispostas na seguinte ordem: data; hora; latitude; longitude; velocidade; rotação da TDP; pressão; temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Simultaneamente ao armazenamento dos dados no cartão SD, as seguintes informações, hora, velocidade (Vel) em km/h, rotação da TDP (TDP) em rpm, umidade relativa do ar (UR) em %, temperatura do ar (Temp) em °C e pressão de trabalho (P) em psi, são exibidas em tempo real no *display*. Esse monitoramento é importante para que o operador tenha conhecimento em tempo real de informações que são úteis no momento da operação. Essas informações estão dispostas como mostra a figura 25. Na exibição optou-se por não mostrar os valores acompanhados de suas respectivas unidades para evitar o excesso de informações na tela.

O armazenamento e exibição dos dados continuará até que o operador pressione a tecla *enter* novamente, nesse momento a coleta de dados se encerra e o SAD retorna ao menu principal.



**Figura 25** – Tela de exibição dos dados de operação.

Caso a coleta de dados seja finalizada, o arquivo criado será fechado. Se a opção operação foi selecionada novamente no mesmo dia, o mesmo arquivo será aberto novamente e outro cabeçalho será gravado, dando início a uma nova operação.

#### 4.9.2 Opção excluir arquivo

O operador pode selecionar a opção excluir arquivo do menu principal para excluir um arquivo localizado no cartão SD. Ao selecionar essa opção é exibida uma tela com os arquivos presentes no cartão de memória, como mostra a figura 26A. O arquivo que aparece na tela pode ser selecionado pelas teclas direcionais e selecionado com a tecla *enter*. Depois uma segunda tela é exibida, perguntando se o arquivo selecionado deve realmente ser excluído, como mostra a figura 26B. Após a tomada de decisão o SAD retorna ao menu principal.



**Figura 26** – Tela da opção excluir arquivo: (A) apresentação dos arquivos (B) Confirmação ou não da exclusão do arquivo.

#### 4.9.3 Opção excluir todos

Essa opção pode ser selecionada quando o operador desejar excluir todos os arquivos do cartão de memória. Quando selecionada, a tela que mostra os arquivos salvos no cartão

não é exibida e é requisitada uma confirmação de exclusão por parte do operador, como pode ser observado na figura 27, caso este, confirme, todos os arquivos serão excluídos.



**Figura 27** – Tela de confirmação para a exclusão de todos os arquivos.

#### 4.9.4 Opção calibração

A opção calibração deve ser selecionada quando o operador desejar calibrar o pulverizador antes de realizar a operação de aplicação. A calibração com o SAD foi baseada no método padrão onde o trator se desloca por 50 m para determinar a velocidade de trabalho e em seguida o volume aplicado por cada ponta de pulverização é coletado em um período de tempo igual ao gasto para percorrer os 50 m. Os dados obtidos nesse método de calibração são utilizados na equação 4 para determinação do volume de pulverização por hectare.

$$Q = \frac{q \cdot 600}{v \cdot f} \quad (4)$$

Em que: Q = o volume por área de pulverização em L/ha; q = a vazão de um dos bicos em L/min; f = o espaçamento entre bicos na barra em metros; v = a velocidade do trator em km/h e 600 é o fator de conversão de unidades.

Antes de iniciar a calibração do pulverizador utilizando o SAD, o operador deve escolher um local, na área que será trabalhada, que ele possa percorrer uma distância mínima de 50 m em velocidade constante. Isso se faz necessário para que o SAD possa determinar a velocidade média de trabalho por meio do GPS.

Com o trator no local escolhido a opção calibração deve ser selecionada. Da mesma maneira que na opção de operação, a calibração também necessita do sinal do GPS, por isso se o SAD foi ligado a pouco tempo é necessário aguardar o sinal do GPS. Em seguida a segunda tela mostrará uma instrução que orienta o operador a colocar o trator em velocidade de trabalho constante e em seguida pressionar a tecla *enter* para que se inicie a determinação da velocidade, esse procedimento é ilustrado na figura 28A. A próxima etapa mostra no *display* duas informações, a velocidade atual do trator em km/h e a distância total percorrida

em metros, conforme mostrado na figura 28B. Essa etapa será interrompida automaticamente pelo SAD quando a distância acumulada atingir 50 m, que é a distância padrão do método de calibração. Uma vez atingido os 50 m o SAD armazena na memória interna do *Arduino* em duas variáveis, a velocidade média e também o tempo gasto para percorrer a distância. Antes de finalizar a determinação da velocidade, no *display* será exibida a velocidade média do trator em km/h e também o tempo decorrido em segundos.



**Figura 28** – Telas da opção “Calibração” (A) tela de instrução (B) tela que exibe os dados de velocidade.

Depois de finalizado o processo de determinação da velocidade, é exibido uma tela no *display* que orienta o operador a ligar a bomba do pulverizador e regular a pressão desejada para iniciar a coleta do volume de água de cada ponta de pulverização, essa instrução pode ser vista na figura 29A. Ao avançar no processo de calibração a próxima tela mostra o valor da pressão da bomba em psi para que o operador possa ajustar manualmente a pressão desejada durante a coleta do volume de água. Essa informação está ilustrada na figura 29B. Depois que o operador regular a pressão desejada e pressionar *enter* o SAD aguarda 20 segundos e emite um sinal sonoro para alertar o operador que dê início a coleta do volume de água pulverizado pela ponta, ao fim do processo o SAD emite outro sinal sonoro para indicar o fim da coleta. O tempo de duração desse procedimento é igual ao tempo gasto para percorrer os cinquenta metros.



**Figura 29** – Telas da etapa de determinação da pressão (A) tela de instrução (B) tela que exibe os dados de pressão.

Após a coleta, aparecerá uma tela questionando se o operador deseja repeti-la. Esse procedimento é importante para o caso de haver algum problema durante a coleta e também para aferir a uniformidade de pulverização de cada ponta. Após o término da coleta, o volume coletado deve ser anotado, pois o mesmo será requerido posteriormente pelo SAD. Depois que todas as coletas forem realizadas o SAD solicitará que operador informe três parâmetros, o primeiro é o espaçamento entre pontas de pulverização em cm. Os valores possíveis são predefinidos e podem variar entre 20 cm e 65 cm, podendo ser alterados em intervalos de 5 cm. O próximo parâmetro requerido é o volume de água coletado por ponta, em mL. Os valores possíveis são predefinidos e podem variar entre 50 mL e 4000 mL, podendo ser alterados em intervalos de 10 mL. Essa faixa de valores foi definida tomando-se como base os volumes de pontas de pulverização encontradas no mercado. O terceiro parâmetro requerido é o volume de calda por área que deve ser aplicado na cultura em L/ha. Os valores possíveis são predefinidos e podem variar entre 50 L/ha e 600 L/ha, podendo ser alterados em intervalos de 10 L/ha. Os parâmetros requeridos são ilustrados nas figuras 30A, 30B e 30C.



(A)



(B)



(C)

**Figura 30** – Telas dos parâmetros requeridos (A) determinação do espaçamento entre pontas (B) determinação do volume de água coletado (C) determinação do volume de calda que deverá ser aplicado.

A equação 5 relaciona a pressão de trabalho com a vazão por ponta. Substituindo a equação 4 na equação 5 foi obtida a equação 6, que é utilizada pelo SAD para calcular um valor ajustado para a pressão de trabalho que atenda a necessidade de aplicação informada no terceiro parâmetro, isso possibilita que o operador obtenha um valor ideal para a pressão de forma mais rápida.

$$\sqrt{\frac{P_1}{P_2}} = \frac{q_1}{q_2} \quad (5)$$

Em que:  $P_1$  = a pressão da bomba submetida ao sistema no início da calibração em psi;  $q_1$  = a vazão média das pontas informada no segundo parâmetro em L/min;  $q_2$  = a vazão média das pontas em L/min, calculada pelo SAD a partir do valor do volume de calda que deve ser aplicado e  $P_2$  = o valor ajustado da pressão em psi.

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{Q_2^2 \cdot v^2 \cdot f^2}{q_1^2 \cdot 3,6 \cdot 10^9} \quad (6)$$

Em que:  $P_2$  = o valor ajustado da pressão em psi;  $P_1$  = a pressão da bomba submetida ao sistema no início da calibração em psi;  $Q_2$  = o volume por área de pulverização em L/ha;  $q_1$  = a vazão média das pontas informada no segundo parâmetro em L/min;  $f$  = o espaçamento entre pontas na barra em cm;  $v$  = a velocidade do trator em km/h e  $3,6 \cdot 10^9$  é o fator de conversão de unidades.

Por fim o SAD informa na tela o valor da pressão recomendada como mostra a figura 31, depois disso o sistema questiona se o operador deseja repetir o processo de calibração, caso o operador opte por repetir o processo de calibração, o SAD reinicia o processo a partir do ponto em que o operador deve regular a pressão, isso significa que a velocidade será a mesma que foi determinada no início do processo de calibração. A repetição dessa etapa é recomendada para que o operador possa confirmar se a pressão indicada atende suas necessidades.



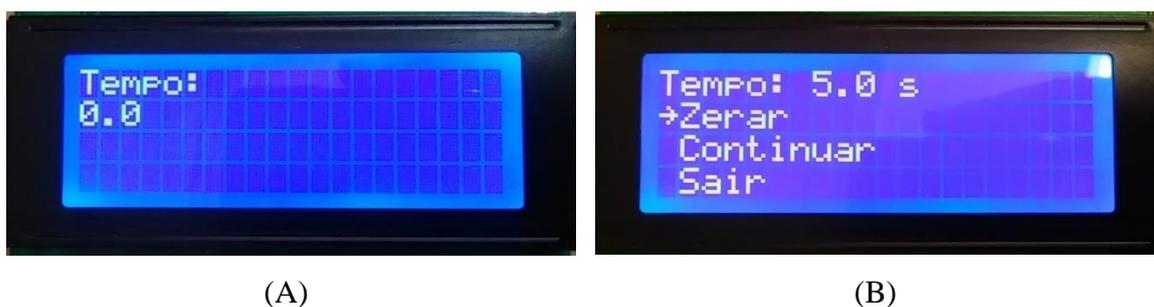
**Figura 31** - Tela que mostra a pressão indicada.

É importante mencionar que cada ponta de pulverização trabalha em uma faixa recomendada de pressão, dessa forma se a pressão recomendada estiver fora da faixa de trabalho das pontas, o procedimento de calibração do pulverizador deve ser reiniciado para que se determine uma nova velocidade de trabalho. Caso a pressão recomendada esteja acima da pressão máxima de trabalho da ponta de pulverização a nova velocidade deverá ser reduzida, caso contrário a velocidade deverá ser aumentada.

#### 4.9.5 Opção cronômetro

Em algumas etapas do procedimento de calibração é necessário o uso de um cronômetro, por isso caso o operador deseje repetir alguma dessas etapas sem necessariamente ter que repetir todo o procedimento de calibração, ele pode optar por usar somente o cronômetro.

Nessa opção a primeira tela apresenta o cronômetro zerado, figura 32A, ao apertar *enter* o cronômetro inicia a contagem e quando a tecla *enter* é pressionada novamente o cronômetro apresenta a segunda tela mostrando o tempo decorrido e três opções. A primeira opção é a de zerar o cronômetro novamente, a segunda continua a contagem de tempo de onde parou e a terceira é a opção usada para sair do cronômetro, como mostra a figura 32B.



**Figura 32** – Telas da opção cronômetro (A) cronômetro zerado (B) opções do cronômetro.

#### **4.10 Atividade realizadas com o cartão SD desconectado**

Caso o SAD seja ligado sem que haja um cartão SD conectado ao sistema ele ainda pode ser operado, entretanto as opções “Apagar arquivo” e “Apagar todos” não poderão ser acessadas. Além das opções mencionadas a opção de operação funcionará de forma parcial, ou seja, o operador poderá utilizar essa opção durante a pulverização, visualizando todos os dados relevantes à operação, porém esses dados não poderão ser armazenados para posterior análise.

Com o cartão de memória desconectada o SAD irá funcionar executando a função de auxiliar a calibração do pulverizador, isso ocorre pois somente as opções de calibração e cronômetro irão funcionar plenamente.

#### **4.11 Orçamento do SAD**

Depois de testada a funcionalidade do SAD é necessário realizar um orçamento para determinar se o equipamento será acessível ao pequeno produtor rural. Para verificar a viabilidade foi realizado um levantamento de cada equipamento utilizado na elaboração do sistema e seus respectivos preços de mercado.

De acordo com levantamento demonstrado na tabela 3 do anexo A, verificou-se que o preço médio do conjunto de todos os componentes é \$ 145,33. Esse custo é relativamente baixo se comparado com máquinas utilizadas em operações de pulverização. Comparando as funcionalidades do SAD com seu custo pode-se dizer que ele apresenta uma boa relação entre custo e benefício.

## **5 CONCLUSÃO**

Com o fim do trabalho pode-se concluir que o SAD desenvolvido é um equipamento robusto, de fácil manipulação e com custo acessível para pequenos e médios produtores.

O sistema apresenta uma interface homem-máquina bastante intuitiva, proporcionando um acesso fácil e rápido a todos os parâmetros de configuração e funcionalidades do equipamento.

A exibição dos dados monitorados em tempo real se mostrou objetiva e de fácil entendimento, podendo auxiliar a tomada de decisão para realizar a operação de forma mais econômica e com menos riscos para o meio ambiente.

O sistema de armazenamento de dados se mostrou confiável e capaz de armazenar grande volume de dados no intervalo de tempo previamente configurado, não apresentando perdas de informações, apresentado grande portabilidade e custo reduzido.

Os dados armazenados auxiliam o produtor rural no monitoramento das operações realizadas bem como a possibilidade de corrigir erros cometidos pelos operadores durante a realização da operação.

## 6 LITERATURA CITADA

ALMEIDA, S. S. **Sistema de aquisição de dados para leituras analógicas de tensão utilizando um microcontrolador PIC (interface controladora de periféricos)**. Mossoró, RN: PPGID/UFERSA, 2012, 66 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

ALVARENGA, C. B.; CUNHA J. P. A. R. Aspectos qualitativos da avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia, Minas Gerais. **Revista Engenharia Agrícola**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 555-562, 2010.

ANTUNIASSI, U. R.; MILLER, P.; PAICE, M. Performance evaluation of injection metering systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 159-165, 2002.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R.; BALASTREIRE, L. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 355-363, 2004.

BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, NETO R.; BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.122-130, 2006.

BRIDI, E.; GIANESINI, B. M.; BIANCHI, E. C.; VILERÁ, K. V.; DIAS, R. R.; CAPRIATA, V.; MOMESSO, A. E. C.; CONEJO, A. Z.; SANTOS, D. C.; FARIA, I. M.; BONATO, M. J. D.; QUADROS, R.; MARTINS, W. K. A. G. Oficina de Arduino como ferramenta interdisciplinar no curso de engenharia elétrica da UFMT: a experiência do pet-elétrica. **XLI Congresso brasileiro de educação em engenharia**, Gramado, 2013.

BUGATTI, I. G.; MENEZES, D.; MARTINS, D. S.; MARCONATO, E. S. Automação e controle de pulverização em máquinas agrícolas. **E-f@tec**, Graça, v. 2, 2012.

CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K.; CAMPOS, R. F. de. Push cone eletrônico de baixo custo para estudo da resistência mecânica ao desenvolvimento radicular das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.525-529, 2001.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Olá Arduino. In: EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. *Arduino em ação*. Primeira edição. São Paulo: Novatec, 2013. p. 24 – 45.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 345-352, 2008.

FURLANI, C. E. A.; PAVAN JÚNIOR, A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora em diferentes

maneios de cobertura e da velocidade. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.456-462, 2007.

LEÃO, R. A. de O.; TEIXEIRA, A. dos S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; MESQUITA, P. E. G.; COELHO, S. de L. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para calibração de sensores de umidade do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.294-303, 2007.

GANDOLFO, M. A.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D.; RODRIGUES, E. B.; ADEGAS, F. S. Periodic inspection of sprayers: diagnostic to the northern of Paraná. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 411-421, 2013.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M. de; MIYAGAKI, O. H.; PINTO, F. de A. de C. Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.375-381, 2003.

GIORDANI, F. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados microcontrolado**. Cascavel, PR: PPGEA/UNIOESTE, 2008, 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

INAMASU, R. Y.; BERTUCCI, I. V.; FERREIRA, W. S.; SOTTO, C. A. B.; TORRE NETO, A.; NAIME, J. M.; RABELLO, L. M.; CRUVINEL, P. E.; BERNARDES FILHO R.; HERMMANN JÚNIOR, P. S. P.; VAZ, C. M. P. Sistema de informação em elementos de aquisição de dados para ambiente agropecuário. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.10, p.1-8, 1996.

Intersil. **SPI Protocol and Bus Configuration of Multiple DCPs**. Disponível em: <<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an13/an1340.pdf>>. Acesso em: 19 janeiro 2016.

MANUAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS – ANDEF. São Paulo: 2010. 52p.

NAGAOKA, A.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES A.; GUERRA, S. P. S. Resistência do solo à penetração após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.387-393, 2003.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Potential of adjuvant store duce drift in agricultural spraying. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 986-992, 2013.

QUEIROZ, T.M.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.44-54, 2008.

SANTOS FILHO, P. F. dos; FERNANDES, H. C.; QUEIROZ, D. M. de; SOUZA, A. P. de; CAMILO, A. J. Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação

dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p. 381-386, 2004.

SILVA, K. O. da; MORAES, S. O.; MIRANDA, J. H.; PALMIERI, A. M. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.630-638, 2007.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S.A.H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.220–224, 2006.

SILVEIRA, G. M.; STORINO, M.; PECHE FILHO, A.; YANAI, K.; BERNARDI, J. A. Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas. **Revista Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.305-310, 2005.

SOUZA, A. R. de; PAIXÃO, A. C.; UZÊDA, D. D.; DIAS, M. A.; DUARTE, S.; AMORIM, H. S. de. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33, n.1, 1702, 2011.

Texas Instruments. **TMS320x281x Serial Peripheral Interface**. Disponível em: <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/spru059e/spru059e.pdf>>. Acesso em: 19 janeiro 2016.

TEIXEIRA, A. S.; COELHO, S. L. Desenvolvimento e calibração de um tensiômetro eletrônico de leitura automática. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.367-376, 2005.

TURUEL, B.; SILVEIRA, P.; MARQUES, F.; CAPPELLI, N. Interface homem-máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.705-710, 2008.

## ANEXO A – TABELA DO ORÇAMENTO DO SAD

**Tabela 3** – Orçamento do SAD.

Especificações	Unidade	Quantidade	Valor		(%)
			Unitário	Total	
			(\$)	(\$)	
Bateria	ud.	1	9,75	9,75	6,71
Buzzer	ud.	1	2,56	2,56	1,76
Cabo manga 4 vias	m	5	0,25	1,25	0,86
Caixa de acrílico	ud.	1	12,50	12,50	8,60
Capacitor de poliéster	ud.	1	0,05	0,05	0,03
Capacitor eletrolítico	ud.	4	0,05	0,20	0,14
Cartão SD	ud.	1	5,18	5,18	3,57
Chave PBS	ud.	3	0,17	0,51	0,35
Conector 4 pinos	ud.	1	1,97	1,97	1,36
Diodo	ud.	1	0,04	0,04	0,03
Mangueira pneumática 6 mm	m	5	0,50	2,50	1,72
Módulo de cartão SD	ud.	1	3,50	3,50	2,41
Módulo GPS U-bloxNEO-6M	ud.	1	40,00	40,00	27,52
Monitor LCD 20x4	ud.	1	6,25	6,25	4,30
Percloroeto de ferro (500 g)	ud.	1	3,59	3,59	2,47
Placa Arduino Mega 2560 R3	ud.	1	22,00	22,00	15,14
Placa de fenolite (10x10 cm)	ud.	1	0,54	0,54	0,37
Resistor	ud.	3	0,05	0,15	0,10
Sensor ASDX100G2	ud.	1	29,00	29,00	19,95
Sensor DHT11	ud.	1	3,73	3,73	2,57
Transistor BC548B	ud.	1	0,06	0,06	0,04
<b>Total</b>				<b>145,33</b>	<b>100</b>

## ANEXO B – TABELA DOS DADOS OBTIDO NO ENSAIO DE CAMPO

**Tabela 4** – Dados obtidos no ensaio de campo.

Operação realizada de 16:47:45 no dia 11/12/15, largura de trabalho igual a 6 m com dados armazenados a cada 5 s.

Data	Hora	Latitude (°)	Longitude (°)	Vel. (km/h)	Rotação (rpm)	Pressão (PSI)	Temp. (°C)	UR (%)
151211	164745	-5,2136	-37,313	0	1830	27,07	30	36
151211	164750	-5,2136	-37,313	0	1830	23,63	30	36
151211	164755	-5,2136	-37,313	0	1818	22,77	30	35

151211	164800	-5,2136	-37,313	0	1824	2,02	30	35
151211	164805	-5,2136	-37,313	0,8	1782	21,3	30	35
151211	164810	-5,2137	-37,313	7,8	1764	21,3	30	35
151211	164815	-5,2138	-37,313	8	1776	22,04	31	34
151211	164820	-5,2139	-37,313	8,5	1758	21,67	31	34
151211	164825	-5,2139	-37,313	8,5	1782	22,16	31	34
151211	164830	-5,214	-37,313	7,8	1782	21,42	31	34
151211	164835	-5,2141	-37,313	7,6	1764	21,18	31	34
151211	164840	-5,2142	-37,313	6,4	1716	20,93	31	34
151211	164845	-5,2142	-37,313	6,6	1512	18,72	31	34
151211	164850	-5,2143	-37,313	6,3	1530	18,97	31	34
151211	164855	-5,2144	-37,313	5	1362	11,35	31	34
151211	164900	-5,2144	-37,313	4,3	1290	12,21	31	34
151211	164905	-5,2144	-37,313	5,6	1266	11,6	31	34
151211	164910	-5,2144	-37,313	0	1560	13,32	30	34
151211	164915	-5,2144	-37,313	0	1026	7,79	30	35
151211	164920	-5,2144	-37,313	0	1008	7,42	30	34
151211	164925	-5,2144	-37,313	0	984	7,79	30	34
151211	164930	-5,2144	-37,313	0	1860	22,53	30	34
151211	164935	-5,2144	-37,313	0	1836	32,23	30	34
151211	164940	-5,2144	-37,313	0	1836	33,46	30	34
151211	164945	-5,2144	-37,313	0,1	1800	32,23	30	34
151211	164950	-5,2143	-37,313	7,7	1794	32,72	30	34
151211	164955	-5,2142	-37,313	8	1818	32,23	30	34
151211	165000	-5,2142	-37,313	7,7	1740	32,47	29	34
151211	165005	-5,2141	-37,313	7,8	1782	33,46	29	34
151211	165010	-5,214	-37,313	7,9	1794	33,58	29	34
151211	165015	-5,2139	-37,313	8,3	1812	33,95	29	34
151211	165020	-5,2138	-37,313	8,6	1776	33,33	29	34
151211	165025	-5,2138	-37,313	5,2	1278	20,44	29	34
151211	165030	-5,2138	-37,313	4,8	1248	20,32	29	34
151211	165035	-5,2138	-37,313	0,1	1194	13,81	29	35
151211	165040	-5,2138	-37,313	0	1020	12,21	29	35
151211	165045	-5,2138	-37,313	0	1842	33,46	29	35
151211	165050	-5,2138	-37,313	0	1836	44,63	29	35
151211	165055	-5,2138	-37,313	0	1842	10,62	29	35
151211	165100	-5,2139	-37,313	5,8	1752	46,84	29	35
151211	165105	-5,2139	-37,313	5,5	1848	45,98	29	35
151211	165110	-5,214	-37,313	5,5	1848	44,51	29	35
151211	165115	-5,214	-37,313	5,6	1848	46,84	29	35
151211	165120	-5,2141	-37,313	5,5	1824	47,82	29	35

151211	165125	-5,2141	-37,313	5,1	1836	49,05	29	35
151211	165130	-5,2142	-37,313	5,6	1842	47,21	29	35
151211	165135	-5,2142	-37,313	5,4	1848	47,7	29	35
151211	165140	-5,2143	-37,313	5,5	1818	47,33	29	35
151211	165145	-5,2143	-37,313	5,4	1836	47,95	29	35
151211	165150	-5,2144	-37,313	5,9	1836	49,42	29	35
151211	165155	-5,2145	-37,313	5,5	1842	48,93	29	35
151211	165200	-5,2145	-37,313	5,6	1824	48,68	29	35
151211	165205	-5,2146	-37,313	5,4	1824	48,81	29	35
151211	165210	-5,2146	-37,313	5,4	1848	47,82	29	35
151211	165215	-5,2147	-37,313	5,2	1602	41,93	29	35
151211	165220	-5,2146	-37,313	5,2	1548	41,19	29	35
151211	165225	-5,2146	-37,313	0	1860	48,93	29	35
151211	165230	-5,2146	-37,313	0	1848	56,79	29	35
151211	165235	-5,2146	-37,313	0	1842	57,77	29	35
151211	165240	-5,2146	-37,313	0	1842	58,14	29	35
151211	165245	-5,2146	-37,313	5,2	1836	58,63	29	35
151211	165250	-5,2145	-37,313	5,6	1818	58,02	29	35
151211	165255	-5,2145	-37,313	5,3	1812	57,65	29	35
151211	165300	-5,2144	-37,313	5,8	1830	58,51	29	35
151211	165305	-5,2144	-37,313	5,4	1824	58,63	29	35
151211	165310	-5,2143	-37,313	5,6	1836	56,54	29	35
151211	165315	-5,2143	-37,313	5,3	1830	58,14	29	35
151211	165320	-5,2142	-37,313	5	1800	55,07	29	35
151211	165325	-5,2142	-37,313	5,2	1800	57,4	29	35
151211	165330	-5,2141	-37,313	5,1	1824	58,26	29	35
151211	165335	-5,2141	-37,313	5,2	1818	57,89	29	35
151211	165340	-5,214	-37,313	6,4	1818	58,88	29	35
151211	165345	-5,2139	-37,313	5,2	1800	57,4	29	35
151211	165350	-5,2139	-37,313	4,6	1734	51,26	29	35
151211	165355	-5,2139	-37,313	3,8	1524	51,26	29	35
151211	165400	-5,2139	-37,313	3	1524	51,02	29	35
151211	165405	-5,2139	-37,313	0	1860	8,9	28	36
151211	165410	-5,2139	-37,313	0	1854	7,79	28	36
151211	165415	-5,2139	-37,313	0	1842	19,7	28	36
151211	165420	-5,2139	-37,313	0	1848	65,02	28	36
151211	165425	-5,2139	-37,313	0	1836	64,03	28	36
151211	165430	-5,214	-37,313	5,3	1836	66,49	28	36
151211	165435	-5,214	-37,313	5,8	1848	66,12	28	36
151211	165440	-5,2141	-37,313	5,6	1842	66,12	28	36
151211	165445	-5,2141	-37,313	5,6	1854	68,45	28	36

151211	165450	-5,2142	-37,313	5,6	1854	70,17	28	36
151211	165455	-5,2142	-37,313	6	1812	65,26	28	36
151211	165500	-5,2143	-37,313	5,7	1854	66,12	28	36
151211	165505	-5,2143	-37,313	5,4	1842	66,37	28	36
151211	165510	-5,2144	-37,313	5,2	1842	68,95	28	36
151211	165515	-5,2145	-37,313	5,1	1824	66,86	28	36
151211	165520	-5,2145	-37,313	5,3	1818	65,63	28	36
151211	165525	-5,2146	-37,313	5,2	1860	66,37	28	36
151211	165530	-5,2146	-37,313	5,6	1830	68,82	28	36
151211	165535	-5,2147	-37,313	4,5	1302	59,12	28	36
151211	165540	-5,2147	-37,313	1,4	1386	59,86	28	36
151211	165545	-5,2147	-37,313	5,4	1362	59,86	28	36
151211	165550	-5,2147	-37,313	1,9	1512	58,26	28	36
151211	165555	-5,2147	-37,313	0	1860	66,98	28	36
151211	165600	-5,2147	-37,313	0	1824	34,32	28	36
151211	165605	-5,2147	-37,313	0	1818	26,46	28	36
151211	165610	-5,2147	-37,313	5,2	1728	24	28	36
151211	165615	-5,2146	-37,313	5,3	1830	26,09	28	36
151211	165620	-5,2146	-37,313	5,6	1836	25,6	29	35
151211	165625	-5,2145	-37,313	5,6	1854	25,97	29	35
151211	165630	-5,2145	-37,313	5,4	1836	26,82	29	35
151211	165635	-5,2144	-37,313	4,9	1848	27,32	29	35
151211	165640	-5,2143	-37,313	7,8	1836	25,6	29	35
151211	165645	-5,2143	-37,313	5,6	1806	25,6	29	35
151211	165650	-5,2142	-37,313	5,4	1842	27,19	29	35
151211	165655	-5,2142	-37,313	5,2	1836	27,32	28	36
151211	165700	-5,2141	-37,313	5,5	1812	25,6	28	36
151211	165705	-5,2141	-37,313	5,4	1830	25,84	28	36
151211	165710	-5,214	-37,313	5,5	1836	26,33	28	36
151211	165715	-5,214	-37,312	5,6	1794	27,19	28	36
151211	165720	-5,2139	-37,312	5,5	1794	26,46	28	36
151211	165725	-5,2139	-37,312	5,1	1806	26,82	28	36
151211	165730	-5,2139	-37,312	3,8	1662	24,37	29	35
151211	165735	-5,2139	-37,312	0,1	1818	23,39	28	36
151211	165740	-5,2139	-37,312	0	1854	30,14	28	36
151211	165745	-5,2139	-37,312	0	1842	38,37	28	36
151211	165750	-5,2139	-37,312	0	1848	41,93	28	36
151211	165755	-5,2139	-37,312	0	1848	44,39	28	36
151211	165800	-5,2139	-37,312	0	1842	43,77	28	36
151211	165805	-5,2139	-37,312	0	1854	19,33	28	36
151211	165810	-5,2139	-37,312	5,1	1728	40,7	28	36

151211	165815	-5,214	-37,312	5,4	1842	41,44	28	36
151211	165820	-5,214	-37,312	5,1	1824	42,91	28	36
151211	165825	-5,2141	-37,313	5,6	1854	42,79	28	36
151211	165830	-5,2142	-37,313	5,6	1848	42,91	28	36
151211	165835	-5,2142	-37,313	5,6	1848	42,42	28	36
151211	165840	-5,2143	-37,313	5,5	1836	43,77	28	36
151211	165845	-5,2143	-37,313	5,2	1824	42,18	28	36
151211	165850	-5,2144	-37,313	5,2	1854	43,65	28	36
151211	165855	-5,2144	-37,313	5,5	1836	42,91	28	36
151211	165900	-5,2145	-37,313	5,2	1842	45,49	28	36
151211	165905	-5,2145	-37,313	4,7	1842	42,91	28	36
151211	165910	-5,2146	-37,313	5,5	1836	44,75	28	36
151211	165915	-5,2146	-37,313	5,8	1824	42,54	28	36
151211	165920	-5,2147	-37,313	5,5	1854	44,39	28	36
151211	165925	-5,2147	-37,313	4,6	1428	34,32	28	36
151211	165930	-5,2148	-37,313	4,1	1374	32,84	28	36
151211	165935	-5,2148	-37,313	4	1320	29,89	28	36
151211	165940	-5,2148	-37,313	5,1	1362	31,12	28	36
151211	165945	-5,2148	-37,313	3,1	1446	32,72	28	36
151211	165950	-5,2148	-37,313	0	1842	43,53	28	36
151211	165955	-5,2148	-37,313	0	1860	41,56	29	35
151211	170000	-5,2148	-37,313	0	1860	48,44	29	35
151211	170005	-5,2148	-37,313	0	1848	63,67	29	35
151211	170010	-5,2148	-37,313	0	1860	17,74	29	35
151211	170015	-5,2148	-37,313	3,1	1806	61,7	29	35
151211	170020	-5,2148	-37,313	3	1830	59,86	29	35
151211	170025	-5,2147	-37,313	3	1824	60,84	29	35
151211	170030	-5,2147	-37,313	2,8	1830	60,6	29	35
151211	170035	-5,2147	-37,313	3,5	1842	62,31	29	35
151211	170040	-5,2146	-37,313	3,1	1818	60,84	29	35
151211	170045	-5,2146	-37,313	2,9	1836	59,61	29	35
151211	170050	-5,2146	-37,313	2,8	1842	61,21	29	35
151211	170055	-5,2146	-37,313	3,1	1830	60,47	29	35
151211	170100	-5,2145	-37,313	3	1812	59,86	29	35
151211	170105	-5,2145	-37,313	3,1	1860	61,33	29	35
151211	170110	-5,2145	-37,313	2,7	1860	64,77	29	35
151211	170115	-5,2144	-37,313	3,4	1842	61,33	29	35
151211	170120	-5,2144	-37,313	2,8	1866	64,16	29	35
151211	170125	-5,2144	-37,313	2,4	1848	60,47	29	35
151211	170130	-5,2143	-37,312	2,9	1842	62,93	29	34
151211	170135	-5,2143	-37,312	3,1	1854	64,4	29	35

151211	170140	-5,2143	-37,312	2,9	1848	60,84	29	35
151211	170145	-5,2143	-37,312	2,9	1854	61,95	29	35
151211	170150	-5,2142	-37,312	2,9	1848	61,95	29	35
151211	170155	-5,2142	-37,312	3	1860	65,75	29	35
151211	170200	-5,2142	-37,312	2,9	1848	65,38	29	35
151211	170205	-5,2141	-37,312	3	1848	64,89	29	35
151211	170210	-5,2141	-37,312	3	1842	62,68	29	35
151211	170215	-5,2141	-37,312	3	1836	61,58	29	35
151211	170220	-5,214	-37,312	3,1	1860	62,68	29	35
151211	170225	-5,214	-37,312	3	1842	62,93	29	35
151211	170230	-5,214	-37,312	2,9	1848	63,05	29	35
151211	170235	-5,214	-37,312	2,9	1854	61,95	29	35
151211	170240	-5,214	-37,312	0	1890	23,88	29	34