**DISPOSITIVO PARA TELEMETRIA**

**DOS DADOS DE OPERAÇÃO DE**

**TRATORES AGR´ICOLAS**

Monografia apresentada no curso de Gra- duac¸a˜o do Centro Universit´ario Cato´lica de Santa Catarina como requisito parcial para obtenc¸a˜o do certificado do curso.

Jaragu´a do Sul 2015

**DISPOSITIVO PARA**

**TELEMETRIA DOS DADOS DE**

**OPERAÇÃO O DE TRATORES**

**AGR´ICOLAS**

Monografia apresentada no curso de Bacha- relado em Sistemas de Informa¸c˜ao do Cen- tro Universita´rio Cato´lica de Santa Catarina como requisito parcial para obtenc¸a˜o do cer- tificado do curso.

A´ rea de Concentrac¸a˜o: Ciˆencia da Com- putac¸a˜o

Orientador: Manfred Heil Ju´nior

Co-orientador: Luciano de Souza Ribeiro Bueno

Jaragu´a do Sul 2015

VOGEL, Joe Jonas

DISPOSITIVO PARA TELEMETRIA DOS DADOS DE OPERAC¸ Aˆ O DE

TRATORES AGR´ICOLAS. Jaragu´a do Sul, 2015.

Monografia - Centro Universit´ario Cato´lica de Santa Catarina.

1. Telemetria 2. Agricultura de Precis˜ao 3. Arduino I.Centro Univer- sita´rio Cat´olica de Santa Catarina. Curso de Bacharaledo em Sistemas de Informac¸a˜o.

Aqui vai a dedicat´oria

i

# Agradecimentos

Aqui vai os agradecimentos

ii

# Sum´ario

[Agradecimentos ii](#_TOC_250046)

[Sum´ario iii](#_TOC_250045)

[Lista de Figuras v](#_TOC_250044)

[Lista de Tabelas vi](#_TOC_250043)

[Lista de S´ımbolos vii](#_TOC_250042)

[Lista de Abreviac¸o˜es viii](#_TOC_250041)

[Resumo ix](#_TOC_250040)

[Abstract x](#_TOC_250039)

[Cap´ıtulo 1](#_TOC_250038)

[Introdu¸c˜ao 1](#_TOC_250037)

* 1. [Problema 2](#_TOC_250036)
  2. [Justificativa 3](#_TOC_250035)
  3. [Objetivos 3](#_TOC_250034)
     1. [Objetivo Geral 3](#_TOC_250033)
     2. [Objetivos Espec´ıficos 4](#_TOC_250032)
  4. [Procedimentos Metodolo´gicos 4](#_TOC_250031)
  5. [Organizac¸˜ao do Trabalho 5](#_TOC_250030)

[Cap´ıtulo 2](#_TOC_250029)

[Fundamenta¸c˜ao 6](#_TOC_250028)

* 1. [Agricultura de Precis˜ao 6](#_TOC_250027)
  2. [Ensaios em Tratores Agr´ıcolas 7](#_TOC_250026)
  3. [Arduino 8](#_TOC_250025)
  4. [Padra˜o ZigBee 9](#_TOC_250024)
  5. [Comparac¸˜ao: ZigBee, Bluetooth e o Wi-Fi 10](#_TOC_250023)
  6. [Sensores 11](#_TOC_250022)

iii

* + 1. [Encoder 11](#_TOC_250021)
    2. [Termopar 12](#_TOC_250020)
    3. [Ultrassonico 14](#_TOC_250019)
  1. [Conclusa˜o 14](#_TOC_250018)

[Cap´ıtulo 3](#_TOC_250017)

[Desenvolvimento 15](#_TOC_250016)

* 1. [Importaˆncia do Sistema 15](#_TOC_250015)
  2. [Limitac¸o˜es 16](#_TOC_250014)
  3. [Vis˜ao Macro do Prot´otipo 16](#_TOC_250013)
  4. [Como Sera´ Desenvolvido o Sistema 17](#_TOC_250012)
  5. [An´alise do Software do Proto´tipo 18](#_TOC_250011)
     1. [Diagramas de Classe 18](#_TOC_250010)
     2. [Diagrama de M´aquina de Estados 22](#_TOC_250009)
  6. [Desenvolvimento do Proto´tipo 22](#_TOC_250008)
  7. [Comunica¸c˜ao entre Dispositivo Coletor e Coordenador 24](#_TOC_250007)
  8. [Teste do Proto´tipo durante Ensaio em Trator 26](#_TOC_250006)
  9. [Resultados do Teste 26](#_TOC_250005)
     1. [Avanc¸o por Roda 27](#_TOC_250004)
     2. [Consumo Hor´ario de Combust´ıvel 28](#_TOC_250003)

[Cap´ıtulo 4](#_TOC_250002)

[Conclus˜ao 30](#_TOC_250001)

[Referˆencias Bibliogr´aficas 31](#_TOC_250000)

iv

* 1. GPS na Agricultura de Precisa˜o 6
  2. Componentes de um SIG (Sistema de Informac¸˜ao Geogra´fica) 7
  3. Arduino Mega 2560 R3 9
  4. Rede ZigBee 10
  5. Comparac¸˜ao entre o padra˜o ZigBee como o Bluetooth e o IEEE 802.11b. .11
  6. Diferenc¸a entre encoder incremental e absoluto. 12
  7. Circuito de Seebeck 12
  8. Exemplo de Termopar 13
  9. M´etodo pulso-eco. 14
  10. Arquitetura proposta 17
  11. Diagrama de classe do mo´dulo de encoders 19
  12. Diagrama de classe do mo´dulo de sensores 21
  13. Diagrama de m´aquina de estados 22
  14. Placa de circuito eletroˆnico. 23
  15. Caixa para protec¸˜ao do circuito eletrˆonico. 24
  16. M´etodo que preenche o pacote. 25
  17. Preparac¸a˜o do trator a ser testado. 26
  18. Rotac¸o˜es por roda em m/s. 27
  19. Somato´rio rotac¸o˜es das rodas dianteiras. 27
  20. Somato´rio rotac¸o˜es das rodas traseiras. 28
  21. Consumo do trator durante o ensaio. 29

v

vi

vii

AP *Agricultura de Precis˜ao*

RF *R´adio Frequˆencia*

TDP *Tomada de Potˆencia*

DAQ *Data Acquisition*

MAC *Medium Access Control*

FEM *For¸ca Eletro-Motriz*

UML *Unified Modeling Language*

viii

**Palavras-chave:** Telemetria, Agricultura de Precisa˜o, Arduino.

ix

**Keywords:** Telemetry, Precision Agriculture, Arduino.

x

# Cap´ıtulo 1

# Introdu¸c˜ao

A AP (*Agricultura de Precisão*) vem avançando muito nos últimos anos. Esta é uma área que tem se consolidado fortemente. Com todas as transformações que a AP vem sofrendo, ela tem se tornado muito competitiva e exige maiores níveis de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo. Baseados nisso, os agricultores, alem de administradores, cada vez mais necessitam assumir a função de pesquisadores em suas áreas, coletando informações, interagindo com novas técnicas e tomando decisões eficazes de manejo. A viabilidade da atividade e a lucratividade dependem de fatores controláveis e incontroláveis que definem a produção agrícola. Devido a isso, a aplicação dos recursos de forma eficiente é indispensável como garantia de sucesso. Isso demanda muito conhecimento e pesquisa sobre os fatores que interagem na lavoura e sobre como eles podem ser maximizados (PIRES et al., 2004).

A AP é um sistema de gerenciamento. Seu crescimento se deve principalmente aos avanços tecnológicos envolvendo: sistema de posicionamento global (GPS), sensoriamento remoto, aplicação de insumos em taxas variáveis, sistema de informação geográfica (GIS), entre outros (PIRES et al., 2004).

Com todo este avanço da AP, o Brasil ainda não está no mesmo ritmo de países onde o investimento na pesquisa e desenvolvimento é levado mais a sério. Para se ter uma ideia, o Brasil é conhecido mundialmente pela sua vocação natural para a agricultura. Esta voca¸c˜ao se deve a vasta ´area territorial combinada com a oferta de sol e a´gua, que s˜ao recursos fundamentais para as atividades agr´ıcolas. Ainda assim, o Brasil ´e o quinto maior produtor agr´ıcola do mundo, com produ¸c˜ao somando cerca de US$ 100 bilho˜es,

segundo dados do Instituto de Estudos do Com´ercio e Negocia¸c˜oes Internacionais (´Icone).

Ficando atra´s da China, Uni˜ao Europeia, Estados Unidos e ´India. Em sexto colocado vem o Jap˜ao (TENO´ RIO, 2011).

Mesmo com todo o territo´rio e condi¸c˜ao clima´tica que o Brasil possui, o seu resul-

Tado é muito próximo de países como Japão e Índia que possuem condições geográficas mais hostis para a agricultura.

Um dos grandes problemas que o Brasil enfrenta ´e a falta de tecnologias de ponta, utilizadas por outros pa´ıses. Um exemplo s˜ao os tratores agr´ıcolas utilizados no Brasil, estes na˜o conseguem entregar os resultados esperados para eles. O motivo disso, ´e que as fabricantes de tratores sa˜o de fora do Brasil, e essas empresas testam seus equipamentos nas condi¸c˜oes de trabalho de seus pa´ıses. No Brasil apenas temos montadoras dessas fabricantes, os tratores s˜ao montados de acordo com o que foi especificado.

Uma das principais fun¸c˜oes dos tratores agr´ıcolas ´e transformar a energia contida no combust´ıvel e fornecˆe-la, atrav´es da barra de trac¸˜ao, para tracionar maquinas e im- plementos agr´ıcolas. O desempenho na barra de trac¸˜ao depende de diversos fatores como potencia do motor, transmissa˜o, entre outros. Entre os fatores que interferem na trac¸a˜o, a condi¸c˜ao do solo ´e muito importante (FILHO et al., 2010).

Porem, na hora de usar este implemento, o agricultor acaba na˜o conseguindo exer- cer a atividade como deveria, isso e devido a fatores como: as condições climáticas, de solo, de combustível, entre outras que ele enfrenta no Brasil não são como as testadas pelo fabricante. Isso implica consideravelmente no desempenho do implemento.

No cen´ario atual, alguns testes manuais s˜ao aplicados nos tratores, por´em, estes na˜o s˜ao o suficiente para que se possa avaliar a verdadeira causa das perdas, por exemplo, fica limitada a obtenc¸a˜o de alguns dados, como temperatura do combust´ıvel, fluxo de combust´ıvel, vaza˜o de ar, for¸ca executada pelo trator, entre outros.

O desenvolvimento de novas tecnologias para apoiar a agricultura faz-se cada vez mais necessário devido a diversos fatores. Se pararmos para analisar a atual situação mundial, muito se fala em sustentabilidade. De acordo com o (SESC, 2015) ”O conceito de sustentabilidade tem sua origem relacionada ao termo ”desenvolvimento sustentável”, definido como aquele que atenda `as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades.”

## Problema

Vários estudos já foram feitos sobre o desempenho de tratores agrícolas nas mais variadas condições para analisar, por exemplo, a perda de potencia devido aos tipos de solo, pneu utilizado, lastragem e da velocidade de deslocamento. Os dados para essas análises são obtidos por meio de instrumentação e monitoramento dos tratores, permitindo a detecção de fatores diretamente envolvidos com a eficiência de trabalho do trator(FILHO et al., 2010).

Porém, estes dados ainda são obtidos de formas manuais e exaustivas, tendo seus testes feitos de forma manual e assim gerando dados propensos a erros. Isso gera a necessidade de melhorar este processo adicionando mais veracidade e também facilidade a tomada de dados.

Como melhorar este cenário de modo que os dados relevantes ao funcionamento do trator possam ser coletados de forma eficiente e sem intervenção humana, e que além disso ainda sejam mais precisos se comparados a realidade atual?

## Justificativa

O desenvolvimento de novas tecnologias para apoiar a agricultura faz-se cada vez mais necessário devido a diversos fatores. Parando para analisar a atual situação mundial, muito se fala em sustentabilidade. Dessa forma cresce cada vez mais a demanda por máquinas agrícolas que possam desempenhar suas atividades de forma rápida e da maneira mais eficiente.

Uma forma de auxiliar nisso, ´e ana´lisar o desempenho dessas ma´quinas e avaliar os pontos onde podemos otimizar a eficiˆencia delas.

Este projeto visa contribuir diretamente nas atividades de telemetria de tratores agrícolas. Com os dados obtidos nas análises, pode-se evoluir o desempenho dos mesmos nas condições de trabalho aos quais são submetidos. Isso impacta em menos consumo de combustível, menos emissão de poluentes, menos desgaste de peças, entre outros.

## Objetivos

Este trabalho ´e voltado a telemetria da opera¸c˜ao de tratores agr´ıcolas. O objetivo

´e fazer com que os dados da operac¸˜ao sejam colhidos e enviados para a an´alise por meio de um dispositivo ligado ao trator em teste. E al´em disso, o dispositivo deve ser de f´acil adaptac¸a˜o a va´rios tipos de tratores agr´ıcolas.

### Objetivo Geral

Desenvolver dispositivo (*End Device* ) capaz de coletar dados relevantes do funci- onamento do trator em tempo real utilizando uma placa controladora e vários sensores industriais para o processamento dos dados coletados e RF (*Rádio Frequência*) para envio dos dados coletados para a análise.

### Objetivos Espec´ıficos

* + - * Estudar e entender os conceitos de Interrupc¸˜oes no Ardu´ıno;
      * Estudar e entender melhor o funcionamento do protocolo ZigBee;
      * Compreender o conhecimento necessário sobre os sensores que serão instalados nos sensores a fim de melhor gerenciar eles com o dispositivo a ser desenvolvido;
      * Conhecer e entender as informac¸˜oes ba´sicas sobre o funcionamento do trator a fim de visualizar as situa¸c˜oes a qual o dispositivo sera´ submetido;
      * Identificar as boas pra´ticas para engenharia de sistemas;
      * Desenvolver o dispositivo, software e documentação aplicando boas práticas de en- genharia de sistemas.

## Procedimentos Metodol´ogicos

O trabalho desenvolvido pode ser classificado como pesquisa explorato´ria. Segundo (GIL, 2010), a pesquisa explorato´ria tem como finalidade desenvolver, esclarecer e mo- dificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulac¸˜ao de problemas mais precisos ou hipo´teses pesquis´aveis para estudos posteriores. Limita-se a definirem objetivos e buscar maiores informac¸o˜es e ideias novas sobre o tema em questa˜o, familiarizando-se com ele.

Para que se possa desenvolver um dispositivo capaz de lidar com todos os dados de operação do trator, faz-se necessário um profundo estudo de todo o hardware necessário para que assim fique mais claro como desenvolver o dispositivo. Para tanto, será realizado estudo nos sites dos fabricantes / desenvolvedores dos sensores, controladoras, rádios, bibliotecas de código, etc. Também se faz necessário enteder o ambiente onde o dispositivo irá atuar. Para isso, serão feitos estudos e experimentos em tratores agrícolas para então definir os requisitos de hardware e software.

Com essas informac¸o˜es em ma˜os, a pro´xima etapa a ser cumprida ´e realizar a ana´lise do software e planejar o circuito eletrˆonico. Isso sera´ u´til para o desenvolvimento e tamb´em para a documentac¸a˜o do trabalho.

A partir dos artefatos gerados durante a an´alise, inicia-se a construc¸a˜o do circuito eletroˆnico e o desenvolvimento do programa (*software* ). Durante esta etapa, diversos testes s˜ao necessa´rios, tanto no software quanto no hardware.

Para concluir o trabalho, ser´a realizado o teste do dispositivo em um trator agr´ıcola para fins de valida¸c˜ao do trabalho desenvolvido.

## Organizac¸˜ao do Trabalho

O Cap´ıtulo 2, Fundamentac¸˜ao tem como objetivo deixar o leitor mais familiarizado com a agricultura de precisa˜o, ensaios de tratores agr´ıcolas, tipos de sensores que ser˜ao utilizados, plataforma Arduino e padro˜es de comunica¸c˜ao RF, entre outras informac¸o˜es pertinentes. Estas sera˜o divididas em se¸c˜oes a fim de facilitar a leitura e o entendimento.

No Cap´ıtulo 3, Desenvolvimento ser´a exposto o assunto de modo substantivo, lo´gico e detalhado. Este ira´ conter as informac¸o˜es referentes ao processo de desenvolvimento do objetivo do trabalho, contemplando informa¸c˜oes como: desenvolvimento do harware e do software, dificuldades, testes, entre outros. Tamb´em ser´a organizado por meio de se¸c˜oes para a melhor disposic¸a˜o da mat´eria.

O Cap´ıtulo 4 trara´ a Conclusa˜o. Este cap´ıtulo ira´ apontar tudo que foi descoberto, diante de profunda pesquisa e investigac¸a˜o ao longo do desenvolvimento do trabalho.

# Cap´ıtulo 2

# Fundamenta¸c˜ao

No decorrer deste cap´ıtulo, sera´ realizada a exposic¸a˜o das informac¸˜oes pertinentes a` fundamentac¸˜ao do conhecimento necessa´rio para o desenvolvimento do objetivo do tra- balho, al´em de familiarizar o leitor que desejar se aprofundar mais na ´area desse trabalho.

## Agricultura de Precis˜ao

Normalmente a AP ´e associada ao uso de equipamentos de alta tecnologia para avaliar, ou monitorizar, as condic¸˜oes numa determinada parcela de terreno. Com essa avaliac¸a˜o ´e feita a aplicac¸a˜o de sementes, fertilizantes, fitofa´rmacos, reguladores de cres- cimento, a´gua, etc. de forma otimizada(COELHO et al., 2004).

Tanto a monitoria quanto a aplicação diferenciada exigem a utilização de tecnologias recentes, como os sistemas de posicionamento global (GPS - Global Positioning System), os sistemas de informação geográfica (SIG) e os sensores eletrônicos (COELHO et al., 2004). Na Figura 2.1 temos uma ilustração do GPS na AP e na Figura 2.2 temos os componentes de um SIG.



Figura 2.1: GPS na Agricultura de Precisa˜o

Com a concepc¸˜ao do GPS (Global Position System) em 1995, viabilizou-se a ins- talac¸a˜o de receptores em colhedoras, possibilitando armazenar dados de produc¸a˜o ins-

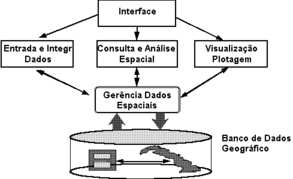


Figura 2.2: Componentes de um SIG (Sistema de Informac¸a˜o Geogra´fica)

tantaˆnea associada a` coordenada geogra´fica. Em 1996, surge no mercado, colhedoras com capacidade de mapeamento da produc¸˜ao, gerando o boom da Agricultura de Precis˜ao no mundo, tornando poss´ıvel a pra´tica de mapeamento e aplicac¸˜ao de insumos a` taxa variada por meio de m´aquinas (INAMASU; BERNARDI, 2014).

A AP pode ser entendida então como uma forma de gestão da lavoura que leva em conta a variabilidade espacial. Pois, em tese, a variação pode ser suficientemente reduzida para que a lavoura seja considerada próxima do uniforme. O retorno econômico, portanto, depende de cada lavoura e dos processos de cada produtor (INAMASU; BERNARDI, 2014).

## Ensaios em Tratores Agr´ıcolas

Uma das principais fun¸c˜oes dos tratores agr´ıcolas ´e transformar a energia contida no combust´ıvel e fornecˆe-la, atrav´es da barra de trac¸˜ao, para tracionar maquinas e im- plementos agr´ıcolas. O desempenho na barra de trac¸˜ao depende de diversos fatores como potencia do motor, transmissa˜o, entre outros. Entre os fatores que interferem na trac¸a˜o, a condi¸c˜ao do solo ´e muito importante (FILHO et al., 2010).

V´arios estudos j´a foram feitos por outros autores nessa a´rea para analisar a perda de potˆencia de tratores devido aos tipos de solo, pneu utilizado, lastragem e da velocidade de deslocamento. Os dados para essas ana´lises s˜ao obtidos por meio de instrumentac¸a˜o e monitoramento dos tratores, permitindo a detecc¸a˜o de fatores diretamente envolvidos com a eficiˆencia de trabalho do trator(FILHO et al., 2010).

Outro exemplo de an´alise de desempenho de tratores ´e o artigo de (SERRANO, 2007) que faz a ana´lise de paraˆmetros como: o regime do motor, a velocidade teo´rica e a

velocidade real de avanço, o consumo horário de combustível e a força de tração na barra de tração. Também foram realizados testes dos tratores com um freio dinamométrico ligado à TDP (*Tomada de Potência*). Os resultados validam a relação linear entre a força de tração por unidade de largura de trabalho do implemento e o consumo de combustível por hectare, indicador do dimensionamento do conjunto trator-implemento. Os dados obtidos também evidenciam as vantagens de se selecionarem marchas altas e baixa rotação do motor.

No caso acima, o autor utilizou parte da infraestrutura do sistema de informação do próprio trator que apenas exibe os dados e para superar o fato de a informação não ficar registrada, foi desenvolvido um sistema DAQ (*Data Acquisition*). A instalação de uma tomada em T, na ligação entre o computador e o painel do sistema de informação, permitiu derivar os sinais dos sensores referidos para um circuito eletrônico constituído por: uma caixa de terminais (com oito canais) e de condicionamento de sinal, para converter sinais analógicos registrados pelos sensores em sinais digitais; uma placa de aquisição de dados, como interface para um computador portátil, sistema de armazenamento e tratamento de dados. Além dos sensores referidos, foi instalada uma célula de carga, interposta na ligação trator-implemento (SERRANO, 2007).

## Arduino

O Arduino ´e uma plataforma eletrˆonica de c´odigo aberto baseado em hardware e software de f´acil utilizac¸a˜o (ARDUINO, 2015b).

Sua programac¸a˜o ´e feita em sua maioria nas linguagens C e C++, por´em na˜o se limita a elas. Como o Arduino ´e de c´odigo aberto, podemos encontrar v´arios experimentos utilizando outras linguagens de programac¸a˜o como: Java, JavaScript, Go, entre outras.

O Arduino detecta o ambiente por meio de entradas provenientes dos mais va- riados tipos de sensores, e atua sobre o ambiente por meio de atuadores como: leds, motores, entre outros. Atualmente existem várias placas Arduino, elas variam em tamanho, memória, clock, portas, etc. Desta forma elas podem atender as mais variadas necessidades (ARDUINO, 2015b).

A plataforma Arduino facilita muito a vida de intusiastas que não contemplam conhecimentos mais avançados na área de microcontroladores, pois ele j´a vem com o hard- ware preparado para o uso. A plataforma Arduino associa, principalmente, a facilidade de programação com a disponibilidade de inúmeros periféricos na forma de módulos.

Por meio de ligações simples, facilmente podemos conecta´-lo a sensores, motores, leds, entre outros, isso faz com que ele seja muito conhecido e utilizado em pequenos e

grandes projetos de automac¸a˜o e Internet das Coisas por exemplo.

Uma das placas Arduino mais utilizadas em projetos maiores ´e o Arduino Mega 2560. Devido a quantidades de portas disponiveis para utilizac¸a˜o e processamento ne- cessa´rio aliado ao custo. A Figura 2.3 mostra como ´e a placa Arduino Mega.



Figura 2.3: Arduino Mega 2560 R3

O Arduino Mega 2560 é uma placa controladora baseada no microcontrolador ATMega2560 da Atmel Corporation. Ele possui cinquenta e quatro (54) portas digitais de entrada / saída (dos quais quinze (15) podem ser utilizadas como PWM e seis (6) como portas de interrupção), dezesseis (16) analógicas e quatro (4) UARTs. O Arduino possui tudo que é necessário para suportar o microcontrolador (ARDUINO, 2015a).

## Padr˜ao ZigBee

ZigBee é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem fio de baixa taxa de transferência de dados. A taxa de transferência máxima é de 250Kbits/s. Suas principais características são: baixo custo, baixa taxa de transferência e consumo baixo de energia. Com o consumo baixo de energia aliado ao modo de economia de energia dos microcontroladores (conhecido com “*sleep mode* ”), estes dispositivos podem operar por anos sem necessitar de troca de bateria (FARAHANI, 2011).

O padrão ZigBee é desenvolvido pela ZigBee Aliance. A ZigBee Aliance foi fundada em 2002 como uma organização sem fins lucrativos aberta a quem queira se juntar a ela. O padrão ZigBee adotou a norma IEEE 802.15.5 e os protocolos MAC (*Medium Access Control* ). O Padrão ZigBee foi especialmente desenvolvido para atender as necessidades de baixo custo de implementação de redes sem fio para baixa taxa de transferência e baixo consumo de energia (FARAHANI, 2011).

Em uma rede ZigBee, temos trˆes tipos de n´os. Sendo eles:

* + - Coordenador: responsável pela configuração da rede; gerenciar os nós da rede; ar- mazenar informações dos no´s; rotear mensagens entre os no´s pareados; normalmente operam em modo de recebimento;
    - Roteador: responsável por realizar a ponte entre o Dispositivo Final e o Coordenador dessa forma potencializando o alcance da rede;
    - Dispositivo Final: tido como no´ final responsável pela coleta dos dados de sensores, empacotamento e envio para o Coordenador ou Roteador; feito para rodar em dispositivos com baixo consumo de energia; pode dormir por longos períodos para economia de energia.

Na Figura 2.4 vemos a disposic¸a˜o dos no´s em uma rede ZigBee.

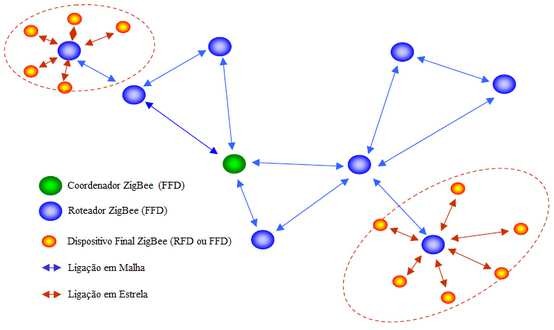


Figura 2.4: Rede ZigBee (UFRJ, 2015)

## Compara¸c˜ao: ZigBee, Bluetooth e o Wi-Fi

Estes três padrões de redes sem fio comumente trabalham na frequência de 2.4GHz. O Wi-Fi (Padrão IEEE 802.11) trabalha com alta taxa de transferência (até 11Mbps), este é utilizado normalmente em redes sem fio de Internet. Ele consegue alcance de transferência entre 30 e 100m em ambientes fechados (“*Indoor* ”). O Bluetooth (Padrão IEEE 802.15.1), trabalha com baixa taxa de transferência, menos de 3Mbps e seu alcance em ambiente fechado varia entre 2 e 10m. Normalmente utilizado em fones de ouvido sem fio. Em comparação com estes, o ZigBee é o que tem a taxa de transferência e a complexidade menor, além de consumir pouca energia. Devido a essas características, o ZigBee é ótimo para transmitir e receber comandos e/ou coletar dados de sensores, tais

como sensores de temperatura e umidade. Nesse caso, o ZigBee oferece o melhor custo benefício comparado ao Bluetooth e ao Wi-Fi (FARAHANI, 2011). Na Figura 2.5 é possível visualizar as principais diferenças entre estes padrões.

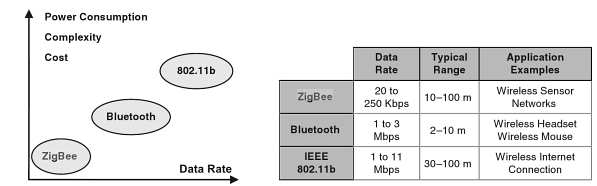


Figura 2.5: Comparação entre o padrão ZigBee como o Bluetooth e o IEEE 802.11b. (FARAHANI, 2011)

## Sensores

Para o desenvolvimento do trabalho, se faz necessa´rio o uso de sensores que ser˜ao responsa´veis pelas medic¸o˜es dos dados de trabalho do trator.

O termo sensor ´e empregado para designar dispositivos sens´ıveis a alguma forma de energia do ambiente, que pode ser luminosa, t´ermica, cin´etica, relacionando informac¸o˜es sobre uma grandeza a ser medida como temperatura, pressa˜o, velocidade, corrente, ace- lerac¸a˜o, posic¸˜ao, etc. (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

### Encoder

O deslocamento de um corpo é uma das poucas grandezas físicas que podem ser compreendidas como um valor digital sem o uso de um conversor analógico-digital. Enco- ders são dispositivos que covertem deslocamento angular e linear em pulsos (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

O encoder permite a leitura de grandezas como: velocidade, direção e posição do movimento. Sendo esse movimento linear ou angular.

Podem ser encontrados dois tipos de encoder: o incremental e o absoluto. O encoder incremental indica o deslocamento em relação a um ponto inicial de referência gerando um pulso para cada unidade de deslocamento, enquanto o encoder absoluto mede o deslocamento em relação a um ponto de referência interno do dispositivo, este gera um código binário para cada unidade de deslocamento (THOMAZINI; ALBUQUERQUE,

2005). Na Figura 2.6 podemos ver a diferen¸ca entre a arquitetura destes encoders.

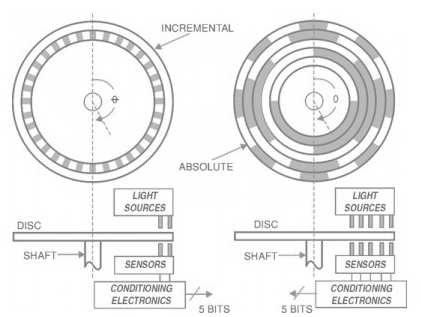


Figura 2.6: Diferenc¸a entre encoder incremental e absoluto.

### Termopar

Em 1821, o físico Thomas Johann Seebeck descobriu que em um circuito fechado, feito com fios de dois metais heterogêneos, uma corrente elétrica fluirá se a temperatura de uma junção T1 estiver acima da temperatura da outra extremidade T2 (THOMA- ZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Na Figura 2.7 podemos ver a representação do circuito proposto.

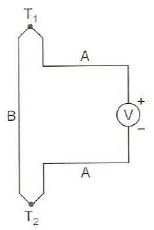


Figura 2.7: Circuito de Seebeck

Este circuito gera uma FEM (*For¸ca Eletro-Motriz* ) que ´e relacionada com o campo

elétrico formado pelo aquecimento que é a função do gradiente de temperatura neste ponto. Baseado no efeito de Seebeck, a FEM gerada é o fenômeno em que ocorre uma circulação de corrente em um circuito formado por dois metais heterogêneos, quando há uma diferença de temperatura entre as duas junções (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada pelos fios diferen- tes. Dessa forma, pode-se medir diretamente a diferença entre temperaturas ou medir a temperatura absoluta, colocando em uma junção a temperatura conhecida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os termopares são os sensores de temperatura mais utilizados atualmente. Isso se deve a sua simplicidade e confiabilidade dos mesmos (MOREIRA, 2002). Na Figura 2.8 temos um exemplo de sensor termopar.



Figura 2.8: Exemplo de Termopar

Segundo (MOREIRA, 2002), os termopares são divididos em três categorias: ter- mopares padronizados de metal nobre, termopares padronizados de metal base e termopa- res não definidos por letras. Termopares de metal nobre contém platina e os termopares de metal base contém níquel.

Dentro dessas categorias, com base na utilização e conhecimento mais comuns nos dias atuais, existem oito tipos de termoelemento: S, R, B (metal nobre) e J, K, N, T e E (metal base) (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

### Ultrassonico

Os sensores ultrassônicos emitem ondas sonoras em frequências muito altas. Os transdutores ultrassônicos tem cristais de piezelétricos que ressonam a uma frequência desejada convertendo energia elétrica em energia acústica e vice-versa. As ondas são transmitidas e refletidas em forma de cone (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os ultrassoˆnicos unem a variedade de utilizac¸a˜o ao baixo custo. Isso faz com que sejam empregados em muitas aplicac¸oes. Historicamente, a aplicac¸˜ao mais habitual dos ultrassoˆnicos ´e na medic¸a˜o de distaˆncias por meio do m´etodo pulso-eco, por transdutores el´etricos (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

Na técnica pulso-eco a medida de distância ´e feita por meio da determinação de tempo de trânsito que gasta uma onda ultrassônica para percorrer o trajeto de ida e volta(BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997). Podemos visualizar isso na Figura 2.9.

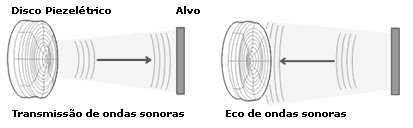


Figura 2.9: M´etodo pulso-eco.

E´ necessa´ria uma distaˆncia m´ınima entre o sensor e o objeto para que possam

haver os ecos e os mesmos possam ser interpretados e calculados. O ângulo da superfície do objeto, rugosidade da superfície, mudanças na temperatura e umidade do ambiente. Os objetos podem ter qualquer forma refletiva, inclusive podem ser redondos (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

Estes sensores são utilizados para diversos fins, tais como medição de diâmetro, presença de pessoas, medição de densidade, entre outros (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

## 2.7 Conclus˜ao

Durante este cap´ıtulo, foram descritos os conhecimentos ba´sicos necess´arios para o desenvolvimento e entendimento do trabalho. No pro´ximo cap´ıtulo ser˜ao esplanados os assuntos pertinentes ao desenvolvimento e aplica¸c˜ao do dispositivo.

# Cap´ıtulo 3

# Desenvolvimento

O dispositivo desenvolvido neste trabalho visa prover uma solução eficaz e confiável para telemetria de tratores agrícolas. Por meio deste dispositivo, diversas informações pertinentes ao funcionamento do trator serão medidas. Com isso, torna-se possível analisar de forma mais precisa fatores que podem prejudicar o funcionamento esperado do mesmo.

Os fatores referentes ao funcionamento do trator que serão sensoriados serão: fluxo e temperatura de entrada de combustível no motor, fluxo e temperatura do retorno de combustível do motor, fluxo e temperatura do ar da admissão, temperatura da água do radiador, peso que o trator está puxando, velocidade de cada roda de forma independente, velocidade efetiva do trator e velocidade na TDP.

## Importˆancia do Sistema

Atualmente a Agricultura é tida como umas das vilãs do aquecimento global por meio do desmatamento que ocorre devido a crescente demanda de produtos alimentícios. Esse aumento na demanda ocorre devido ao constante crescimento da população mundial.

Neste contexto, cada vez mais se tem investido em formas de produzir mais sem que seja necessário aumentar a área plantada. Vários meios de se conseguir isso estão sendo pesquisados e implantados, podemos citar coisas como: irrigação automatizada com uso de sensores, automação de abrigos de cultivo, sensoriamento de microclima, etc.

O dispositivo proposto neste trabalho visa fornecer uma ferramenta para telemetria dos dados de operação de tratores, item que ainda recebe pouca atenção no Brasil. Estes tratores são utilizados em larga escala para várias etapas do processo de plantio e colheita. Estes tratores, caso não estejam operando de forma correta, podem gerar excesso de gases poluentes, desgaste acelerado, baixa autonomia e atraso nos processos de plantio e colheita. Com esta telemetria, pode-se avaliar os dados de operação do trator de forma concisa e assim avaliar sua situação de forma precisa e caso necessário, tomar as ações pertinentes para fazer com que este trator volte aos parâmetros aceitáveis de operação.

## Limitac¸o˜es

As limitac¸˜oes deste dispositivo esta˜o associadas ao ra´dio responsa´vel por enviar os pacotes de dados. Isso se da´, pois dependendo do ra´dio que for utilizado, temos diferentes capacidades de alcance. No proto´tipo desenvolvido para este trabalho, foi utilizado o ra´dio Digi Xbee Serie 2, com alcance de at´e 120 metros. Devido a isso, o dispositivo que for utilizado como coletor podera´ ficar a at´e no ma´ximo 120 metros do dispositivo para poder manter a comunicac¸˜ao. Por´em, o recomendado ´e na˜o chegar a at´e essa distaˆncia para garantir que nenhum pacote seja perdido devido a distaˆncia. Devido a isso, na˜o ´e recomendado exceder uma distaˆncia de cerca de 100 metros entre o dispositivo e o coletor.

## Vis˜ao Macro do Proto´tipo

Os dados coletados no trator ser˜ao empacotados e enviados via ra´dio para um coletor (*Gateway* ). Este coletor podera´ ser um computador com um m´odulo *sniffer* RF para possibilitar a comunicac¸˜ao entre o computador e o dispositivo. Ap´os isso, essa informac¸a˜o podera´ ser tratada de v´arias formas, como: planilhas, relato´rios ou at´e mesmo por meio de aplicac¸a˜o Web, onde estes dados podem ser exibidos em tempo real para qualquer lugar no mundo. A Figura 3.1 representa este cen´ario.

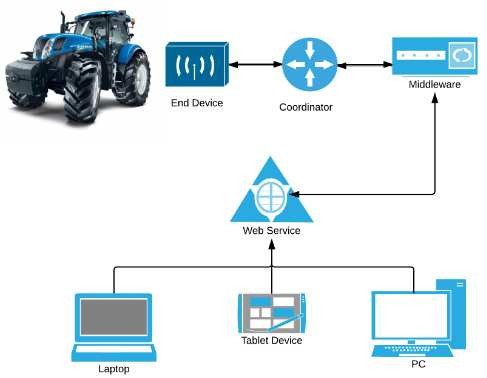


Figura 3.1: Arquitetura proposta

## Como Ser´a Desenvolvido o Sistema

Devido a grande quantidade de sensores, foi dividida a carga de processamento em dois Arduinos, para que assim o protótipo fique mais resistente a falhas que podem ocorrer devido ao processamento necessário.

Deste modo, o primeiro Arduino ficou responsável por cinco encoders (com possi- bilidade para seis), assim mensurando:

* + - Locomo¸c˜ao do trator (quatro rodas);
    - Velocidade na TDP.

E o segundo Arduino recebeu os sensores pertinentes ao funcionamento do trator, sendo eles:

* + - Fluxo e temperatura de combustível da entrada e saída do motor;
    - Fluxo e temperatura do ar na admissa˜o;
    - Temperatura dos gases do escapamento;
    - Temperatura da a´gua do arrefecimento;
    - Peso na barra barra de trac¸˜ao;
    - Velocidade real do trator.

O primeiro Arduino ficou apenas com os encoders, pois estes trabalham por meio das portas de interrupção do Arduino. Dois dos encoders geram 360 pulsos a cada revolução. Se somadas todas as interrupções que podem ser geradas por estes encoders podemos ver que isso por si pode exigir muito do Arduino. Os fluxometros (responsáveis pela medição de fluxo) também são encoders, porém, estes sofrem menos revoluções e com isso não afetam o segundo Arduino. Portanto, foi definida tal divisão.

Devido a isso, foram desenvolvidos dois softwares embarcados, sendo um para cada módulo. Ambos serão descritos nas seções 3.5 e 3.6.

## An´alise do Software do Proto´tipo

Como os softwares embarcados deste protótipo são relativamente simples. A mo- delagem deles também se torna muito simples. Para auxiliar no entendimento, serão demonstrados dois diagramas UML (*Unified Modeling Language*) do software, sendo eles: o diagrama de classe de cada módulo e o diagrama de máquina de estados (igual para ambos os softwares embarcados).

### Diagramas de Classe

Uma vez que é de conhecimento a necessidade de dividir o trabalho em dois mi- crocontroladores. Temos que passar a analisar o software de forma independente.

No software embarcado no microcontrolador responsa´vel pelos encoders, temos dois arquivos de c´odigo fonte, sendo um o arquivo principal (*Main*), responsa´vel por controlar todo o ciclo da execu¸c˜ao e uma classe chamada *Encoder*, responsa´vel por encapsular os atributos e a¸c˜oes dos encoders. Essa classe *Encoder* ´e utilizada como biblioteca na classe principal. Podemos ver o diagrama de classe deste mo´dulo na Figura 3.2.

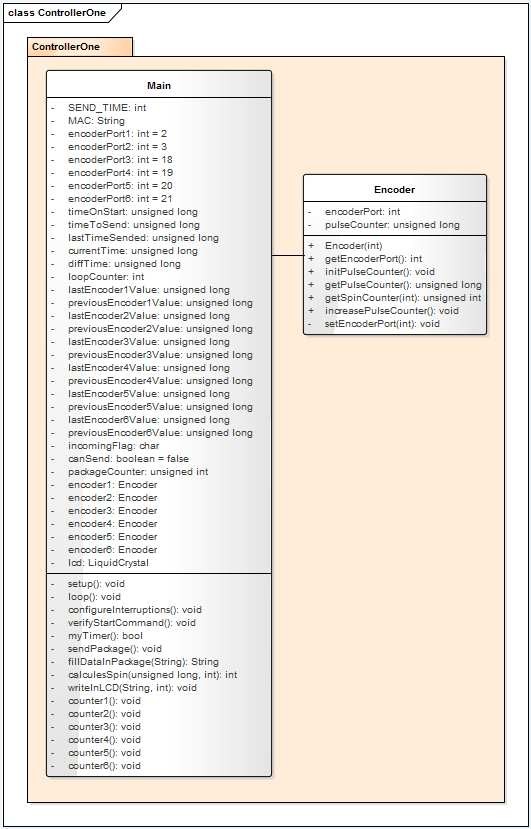


Figura 3.2: Diagrama de classe do mo´dulo de encoders

No software embarcado no microcontrolador responsa´vel pelos sensores, temos mais arquivos de c´odigo fonte. Como no mo´dulo dos encoders, neste mo´dulo tamb´em precisa-

mos de um arquivo principal que é responsável pela execução. Este faz uso de diversas bibliotecas, dentre elas temos as implementadas para este dispositivo, sendo elas: *Encoder* (igual a do módulo dos encoders); *Fluxometer* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo fluxometro); *Thermocouple* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo termopar) e *Pitot* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo válvula de pitot). Podemos ver o diagrama de classe deste módulo na Figura 3.3.

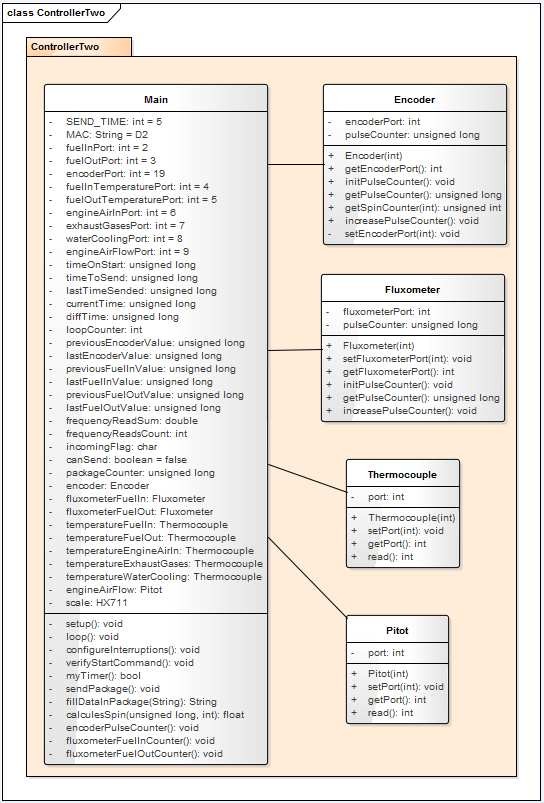


Figura 3.3: Diagrama de classe do mo´dulo de sensores

### Diagrama de M´aquina de Estados

O diagrama de máquina de estados visa representar os estados dos programas du- rante sua execução. Como este diagrama fornece uma visão macro dos estados. Utilizamos o mesmo diagrama para os dois módulos, ou seja, os dois módulos (módulo encoders e módulo sensores) operam de forma muito semelhante, apenas diferenciam no número e no tipo de sensores que controlam. Na Figura 3.4 podemos ver o diagrama de máquina de estados deste trabalho.

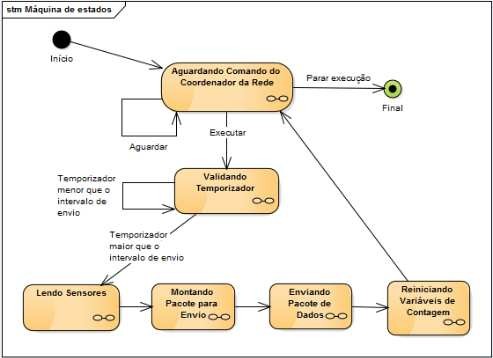


Figura 3.4: Diagrama de ma´quina de estados

## Desenvolvimento do Proto´tipo

O desenvolvimento do proto´tipo foi dividido em dois, sendo: hardware e software. As tecnologias principais do hardware s˜ao: 2x Arduino Mega 2560 (processamento dos dados), 3x XBee Series 2 (comunicac¸a˜o. Sendo dois no *End Device* e um no Coordenador) e os sensores industriais utilizados. Estes sensores s˜ao compostos por:

* + - 5x encoders: para medir a velocidade em cada roda e na TDP;
    - 2x fluxometro: para medir o fluxo de combust´ıvel na entrada e no retorno do motor;
    - 5x termopar: para medir temperatura do combustível na entrada e no retorno do motor, do ar da admissão, dos gases do escapamento e do liquido de arrefecimento;
    - 1x sensor de pressa˜o: para medir o fluxo de entrada de ar na admissa˜o;
    - 1x c´elula de carga: para medir o peso que o trator esta´ puxando na barra de trac¸a˜o;
    - 1x ultrassonico: para medir a velocidade real do trator.

Para realizar a ligac¸˜ao de todos estes componentes, foi desenvolvida uma placa de circuito eletroˆnico onde estes sensores, Arduinos e ra´dios s˜ao ligados. Na figura 3.5 podemos ver como ficou a placa de circuito eletroˆnico.

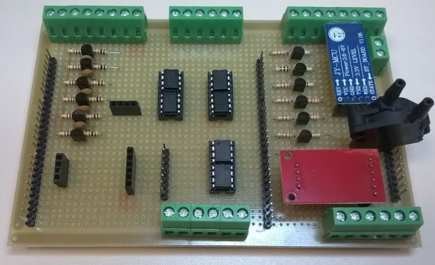


Figura 3.5: Placa de circuito eletrˆonico.

Um fator importante que deve ser levado em considerac¸a˜o ´e a integridade deste circuito. Uma vez que ele estar´a operando em um ambiente com bastante vibrac¸˜ao, ru´ıdo e com possibilidade de respingos de a´gua. Faz-se necessa´rio prover uma forma de protec¸˜ao. Devido a isso, foi desenvolvida uma caixa para aloca¸c˜ao do circuito e ao mesmo tempo facilitar as conexo˜es de cabos. A Figura 3.6 mostra a caixa desenvolvida.



Figura 3.6: Caixa para protec¸a˜o do circuito eletroˆnico.

A alimentac¸a˜o do dispositivo ´e proveniente da bateria do pro´prio trator.

O desenvolvimento do software embarcado foi feito nas linguagens de programac¸˜ao C e C++ e compilado com a IDE do pro´prio Arduino. O versionamento de c´odigo foi feito por meio de reposito´rio no GitHub.

## Comunica¸c˜ao entre Dispositivo Coletor e Coordena- dor

Para a comunicação entre o Coletor e o Coordenador, foram utilizados três rádios XBee Series 2 de 2mw de potência, a escolha desse rádio se deu devido as seguintes condições oferecidas por ele: baixo consumo, facilmente encontrado no mercado, taxa transmissão de dados de 250 kbps, raio de cobertura 120m e criptografia de 128 bits. Dois rádios foram utilizados no coletor configurados como Dispositivo Final um configurado como Coordenador para uso no *Middleware*.

Baseado nisso, o dispositivo coleta os dados dos sensores e então monta o pacote para envio ao coordenador da rede. Os dados são primeiramente convertidos para a base hexadecimal para depois serem enviados, dessa forma o tamanho do pacote fica menor e assim facilitando o seu envio. Na Figura 3.7 podemos ver o método responsável por preencher o pacote a ser enviado no módulo de leitura dos sensores.

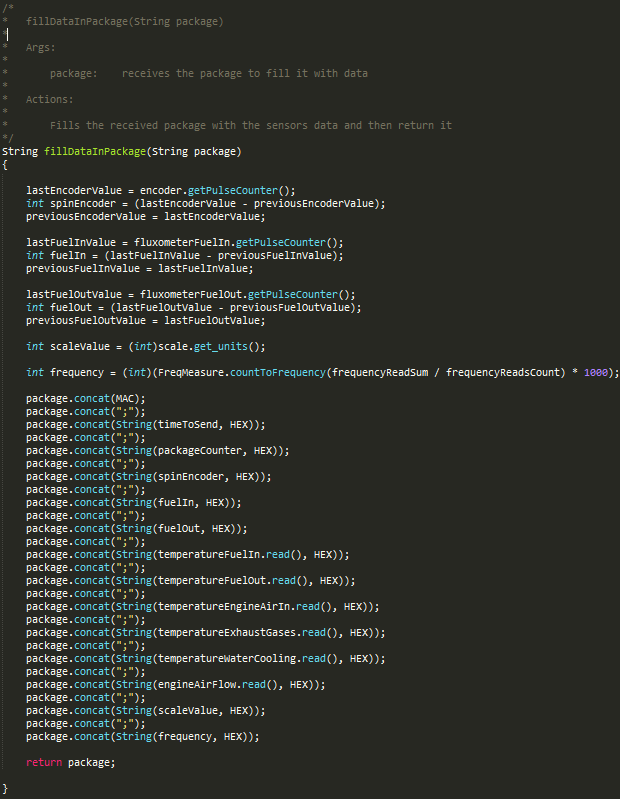


Figura 3.7: M´etodo que preenche o pacote.

## Teste do Proto´tipo durante Ensaio em Trator

O protótipo foi desenvolvido para um projeto proveniente de uma parceria entre o Centro Universitário Católica de Santa Catarina (Brasil) e a Universidade Federal do Paraná (Brasil) para a automação da aquisição de dados de operação de tratores agrícolas para uso em ensaios. Desta forma, este dispositivo foi utilizado em conjunto com outros componentes de software desenvolvidos por outros acadêmicos, estes componentes são: *Middleware* (responsável por receber e persistir em um banco de dados os dados coletados) e Aplicação WEB (responsável por gerar e exibir gráficos a partir dos dados coletados).

O trator escolhido para o teste foi um T7 da marca New Holland. Como forma de simular peso na barra de tração, foi utilizado um cambão engatado em outro trator de porte maior responsável por frear e dessa forma simular o peso de arrasto. Na figura 3.8 podemos ver o trator em teste (esquerda) equipado com os sensores e ligado ao segundo trator (direita).



Figura 3.8: Preparac¸a˜o do trator a ser testado.

## Resultados do Teste

Com os dados coletados durante o ensaio do trator, faz-se poss´ıvel gerar informac¸o˜es para a ana´lise do desempenho do mesmo. Esses dados, por serem coletados e transmitidos em tempo real, possibilitam a construc¸˜ao da informac¸a˜o tamb´em em tempo real. Abaixo sera˜o descritas algumas das informac¸o˜es geradas com os dados coletados, sendo elas a

avanc¸o por roda e o consumo hora´rio de combust´ıvel. Para facilitar a leitura foi utilizado uma parcela de 150 segundos do ensaio para a plotagem dos gr´aficos.

### Avanc¸o por Roda

A medição dos dados de avanço do trator são feitas por meio de um encoder ligado a cada roda. Dessa forma, podemos obter informações como: distância percorrida, períodos no qual ela patinou e velocidade.

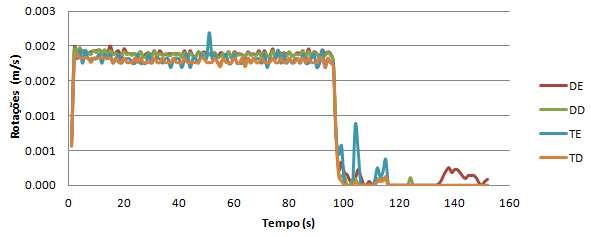


Figura 3.9: Rotac¸o˜es por roda em m/s.

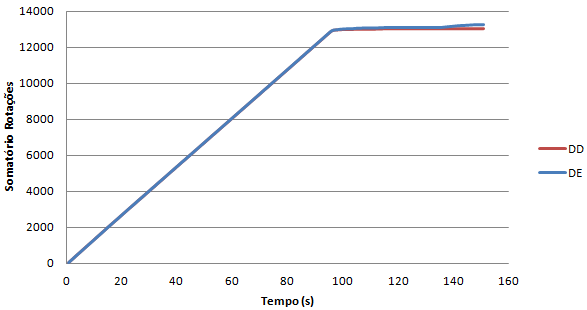


Figura 3.10: Somato´rio rotac¸o˜es das rodas dianteiras.

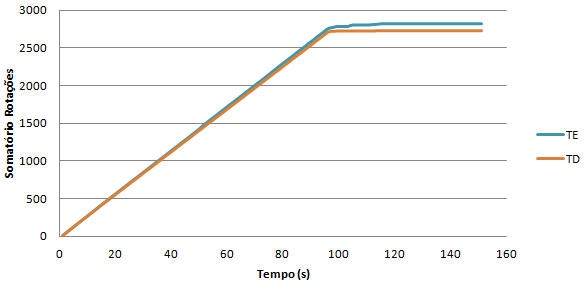


Figura 3.11: Somato´rio rotac¸o˜es das rodas traseiras.

### Consumo Hor´ario de Combust´ıvel

A medic¸˜ao de consumo do trator ´e feita com os valores das leituras do fluxometro de entrada de combust´ıvel no motor e o de retorno de combust´ıvel. A f´ormula para o c´alculo dessa informac¸a˜o ´e: (*FluxIn − FluxOut*) *∗* 3*,* 6 onde *FluxIn* ´e o valor do fluxometro de entrada, *FluxOut* ´e o valor do fluxometro de retorno e 3*,* 6 ´e referente a convers˜ao de ml/s para l/h. A partir dessa f´ormula ´e poss´ıvel obter o consumo em Litros/Hora.

Como a coleta dessa informação é feita no Controlador dos Sensores e este foi configurado para fazer as leituras em intervalos de cinco segundos, a função que utilizamos foi [(*F luxIn − FluxOut*)*/*5] *∗* 3*,* 6, onde a adição do */*5 é para obter o consumo médio por segundo a cada leitura efetuada nos fluxometros.

Com a aplicação dessa fórmula sobre os dados coletados foi gerado o gráfico que demonstra o consumo do trator durante a parcela de tempo selecionada do ensaio. A figura 3.12 representa este gráfico.

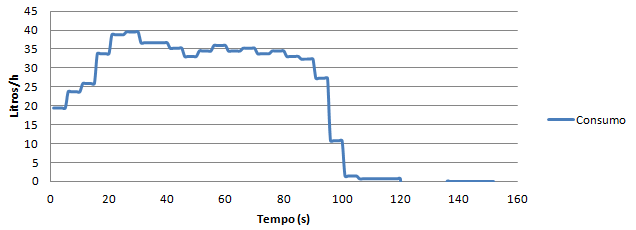


Figura 3.12: Consumo do trator durante o ensaio.

# Cap´ıtulo 4

# Conclus˜ao

# Referˆencias Bibliogr´aficas

ARDUINO. *Arduino Mega 2560*. 2015. Online, acessado em 20/Maio/2015. Dispon´ıvel em: *(*[http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560*)*.](http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560))

ARDUINO. *What is Arduino?* 2015. Online, acessado em 20/Maio/2015. Dispon´ıvel em:

*(*[http://www.arduino.cc/*)*.](http://www.arduino.cc/))

BASTOS, T. F.; ABREU, J. M. M.; POVEDA, L. *Uso de sensores ultra-sˆonicos na medi¸c˜ao de parˆametros em rob´otica e outras aplica¸c˜oes*. [S.l.]: Instituto de Autom´atica Industrial, Espanha, 1997.

COELHO, J. C. et al. Agricultura de precisa˜o. *Pref´acio, Lisboa*, 2004. FARAHANI, S. *ZigBee wireless networks and transceivers*. [S.l.]: newnes, 2011.

FILHO, A. G. et al. Desempenho de trator agr´ıcola em trˆes superf´ıcies de solo e quatro velocidades de deslocamento. *R. Bras. Eng. Agr´ıc. Ambiental*, SciELO Brasil, v. 14, n. 3, p. 333–339, 2010.

GIL, A. C. M´etodos e t´ecnicas de pesquisa social. In: *M´etodos e t´ecnicas de pesquisa social*. [S.l.]: Atlas, 2010.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C. Agricultura de precisa˜o. *Embrapa Pecu´aria Sudeste-Cap´ıtulo em livro t´ecnico-cient´ıfico (ALICE)*, In: BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; INAMASU, RY (Ed.). Agricultura

de precisa˜o: resultados de um novo olhar. Bras´ılia, DF: Embrapa, 2014., 2014.

MOREIRA, L. Medi¸c˜ao de temperatura usando-se termopar. *Cerˆamica Industrial*, v. 7, n. 5, p. 51–53, 2002.

PIRES, J. L. F. et al. *Discutindo agricultura de precis˜ao-aspectos gerais*. [S.l.]: Embrapa Trigo, 2004.

SERRANO, J. Desempenho de tratores agr´ıcolas em trac¸a˜o. *Pesquisa agropecu´aria brasileira*, SciELO Brasil, v. 42, n. 07, p. 1021–1027, 2007.

SESC, S. S. d. C. *Conceito de Sustentabilidade*. 2015. Online, acessado em 18/Maio/2015. Dispon´ıvel em: *(*[http://sustentabilidade.sescsp.org.br/conceito-de-sustentabilidade*)*.](http://sustentabilidade.sescsp.org.br/conceito-de-sustentabilidade))

TENO´ RIO, R. Agricultura - do subs´ıdio a` pol´ıtica agr´ıcola. *Desafios do Desenvolvimento*, 2011.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. Sensores industriais–fundamentos e aplicac¸o˜es. *S˜ao Paulo*, v. 3, 2005.

UFRJ. *ZigBee*. 2015. Online, acessado em 12/Novembro/2015. Dispon´ıvel em:

*(*[http://www.gta.ufrj.br/grad/10*\*](http://www.gta.ufrj.br/grad/10\)1/zigbee/dispositivos.html*)*.