

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA

Lucas Simon da Rosa

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E
ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÕES
DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Santa Maria, RS
2019

Lucas Simon da Rosa

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E
ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÕES
DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS
2019

Rosa, Lucas

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E
ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÕES DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS / Lucas Rosa.- 2019.

61 p.; 30 cm

Orientador: José Fernando Schlosser

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de
Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2019

1. Mecanização Agrícola 2. Máquinas agrícolas 3. Coleta de Dados I. Schlosser,
José Fernando II. Título.

@2020

Todos os direitos autorais reservados a Lucas Simon da Rosa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: lucassimondarosa@gmail.com

Lucas Simon da Rosa

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E
ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÕES
DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 4 de dezembro de 2019:

José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Saulo Philipe Sebastião Guerra (UNESP)

Luciano Caldeira Vilanova (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

“If you torture the data long enough, it will confess.”

Ronald H. Coase

RESUMO

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÕES DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

AUTORIA: Lucas Simon da Rosa

ORIENTADOR: José Fernando Schlosser

Em um sistema de produção agrícola, a máquina que possui maior versatilidade é o trator, sendo o mesmo utilizado principalmente para movimentar e tracionar máquinas e implementos. A utilização de equipamentos de coleta e armazenamento de dados independentes (*datalogger*) na avaliação de máquinas agrícolas tornou possível a avaliação de parâmetros e resultados, que visam otimizar a energia consumida em função do trabalho realizado. Os coletores de dados apresentam custo de aquisição alto, número de canais e funcionalidades limitados a experimentos complexos, que levam pesquisadores a desenvolverem seus próprios dispositivos de coleta, geralmente baseados em plataformas de desenvolvimento de placas eletrônicas microprocessadas. Como método de identificação dos requisitos desejáveis para um *datalogger* específico para avaliação de máquinas agrícolas, foi realizada uma pesquisa em artigos nos últimos 22 anos na plataforma de busca de Periódicos da Capes com as palavras chave “*datalogger*” e “*data logger*”, obtendo 1.166 resultados, sendo selecionados os artigos que possuíam coletores de dados utilizados em ambientes externos, em máquinas agrícolas ou expostas à vibração, destes, foram determinados os tipos de sensores e sinais mais recorrentes, a taxa de coleta e resolução e proteção quanto a fatores ambientais, bem como a demanda de novas características que atendam ao avanço tecnológico. Com base nos requisitos encontrados foi elaborado um protótipo funcional do coletor de dados, visando baixo custo sem perda de funcionalidade e precisão, com componentes eletrônicos de ampla disponibilidade no mercado nacional, o mesmo foi calibrado e utilizado em laboratório e campo coletando dados confiáveis para utilização em pesquisas científicas, sendo este protótipo intitulado Baitallogger.

Palavras-chave: Mecanização Agrícola. Máquinas agrícolas. Coleta de Dados.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION AND STORAGE SYSTEM FOR AGRICULTURAL MACHINE EVALUATIONS

AUTHOR: Lucas Simon da Rosa

ADVISOR: José Fernando Schlosser

In an agricultural production system, the most versatile machine is the tractor, mainly used for move and pull machines and attachments. The use of independent data collection and storage equipment or datalogger in the evaluation of agricultural machines made it possible to evaluate parameters and results that aim to optimize the energy consumed as a function of the work performed. Initially performed with analog datalogger, based on the operation of mechanical systems and with paper graphical recording of only one physical phenomenon in relation to time. With the emergence of microcontrolled electronic datalogger, electronic sensors, and nonvolatile storage devices, it has become extremely versatile equipment and can record multiple physical effects simultaneously. Datalogger have a high acquisition cost and often fulfill standard signal collection functions, which often do not meet the requirements of certain studies that lead researchers to develop their own collection devices, usually based on microprocessor-based electronic card development platforms. As a method to identify the desirable requirements, a search of articles over the last 22 years was carried out in the Capes Journals search platform with the keywords “datalogger” and “data logger”, obtaining 1,166 results, being selected the articles that had collectors data used outdoors, on agricultural machines or exposed to vibration, from these, were determined the types of sensors and signals most recurring, the rate of collection and resolution and protection from environmental factors, as well as the demand for new features that meet to technological advancement, which is entitled Baitalogger prototype.

Keywords: Agricultural Mechanization. Agricultural machinery. Field tests. Data collect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Efeito da taxa de amostragem em sinais periódicos.	20
Figura 2 - Filtros utilizados na Busca.	23
Figura 3 - Módulo contador de Pulsos	29
Figura 4 - Módulo de sinais analógicos.	31
Figura 5 - Camadas dos módulos do coletor de dados (á esquerda módulos individuais, á direita montagem).	33
Figura 6 - Montagem dos módulos espaçados (á esquerda montagem das placas, á direita estrutura do gabinete).	33
Figura 7 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A1.....	36
Figura 8 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A2.....	36
Figura 9 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A3.....	37
Figura 10 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A4.....	38
Figura 11 - - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A5.	38
Figura 12 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A6.....	39
Figura 13- Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A7.....	40
Figura 14 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A8.....	40
Figura 15 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A9.....	41
Figura 16 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A10.....	41
Figura 17 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A11.....	42
Figura 18 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A12.....	42
Figura 19 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A13.....	43
Figura 20 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A14.....	44
Figura 21 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A15.....	44
Figura 22 - Diagrama de instrumentação do trator.....	46
Figura 23 - Instrumentação para medida da rotação dos rodados.	47
Figura 24 - Mapa de 3 dimensões, latitude, longitude e altitude.....	52
Figura 25 - Mapa de 3 dimensões, latitude, longitude e velocidade do veículo.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D ou ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
E/S	<i>Entrada/Saída</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LED	<i>Light Emission Diode</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MCU	<i>Micro Controler Unit</i>
NMEA	<i>National Marine Eletronic Association</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostic</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RS-232	<i>Recommend Standard – 232</i>
SD	<i>Secure Digital Card</i>
SPS	<i>Samples per second</i>
TTL	<i>Transistor-transistor Logic</i>

SUMÁRIO

1.	Introdução	12
2.	Revisão Bibliográfica	14
2.1	Sistema de Coleta de dados	14
2.2	Coleta de dados em campo	15
2.3	Avaliação de desempenho	16
2.4	Sensores e frequências	17
2.5	Instrumentação	19
2.5.1	Conceitos	19
2.5.1.1	Conceito de instrumentação	19
2.5.1.2	Aquisição de dados	19
2.5.1.3	Sensores	19
2.5.1.4	Taxa de coleta	20
2.5.1.5	Range	21
2.5.1.6	Condicionador de sinal	21
2.5.1.7	Conversor analógico digital (conversor A/D)	21
2.5.1.8	Número de bits	21
2.5.1.9	Resolução	22
3.	Material e métodos	23
3.1	Definição de Requisitos de projeto	23
3.2	Projeto do datalogger	27
3.3	Módulo central de registro de dados	27
3.3.1	Microcontrolador	27
3.3.2	Módulo de alimentação de energia	28
3.3.3	Relógio de tempo real (RTC – Real Time Clock)	28
3.4	Módulo contador de pulsos	28
3.5	Módulo de sinais analógicos	29
3.5.1	Amplificadores de sinal	30
3.6	Módulo de comunicação	31
3.7	Módulo de saída de dados	32
3.7.1	Display	32
3.7.2	Módulo do cartão SD	32
3.7.3	Comunicação USB tipo B	32
3.8	Invólucro	32
4.	resultados e DiscuSSão	34
4.1.1	Taxa de coleta	34
4.1.1.1	Cartão SD	34
4.1.1.2	Comunicação Serial	34
4.2	Módulo contador de pulsos	34
4.3	Módulo de sinais analógicos	35
4.3.1	Controles de calibração e ruído	35
4.4	Teste de campo	46
4.4.1	Instrumentação	46
4.5	Dados de campo	50
4.6	Comparação com Coletores de dados comercializados	53
4.6.1	Taxa de amostragem	53
4.6.2	Contadores de pulso	53
4.6.3	Leitura analógica.	54

4.6.4	Display e status	54
4.6.5	Código aberto.....	55
4.6.6	Custo de produção	56
5.	Conclusões.....	58

1. INTRODUÇÃO

A coleta de dados tem papel fundamental na avaliação de desempenho de uma máquina, sendo, as agrícolas, complexas por operar em diversas condições de trabalho, e possuem para tal grande número de ajustes e configurações que melhor atenda a realização do trabalho. Cada configuração está atrelada a uma característica de desempenho, que pode ser observada visualmente em casos, por medições e cálculos, ou por uma coleta de dados no tempo, sendo esta última opção a que oferece uma maior acurácia na identificação de causa efeito das variáveis de configuração, visto que podemos estabelecer relações entre os parâmetros de configuração, variáveis de operação instrumentadas e desempenho, permitindo organizar os resultados em curvas ou gráficos de desempenho, encontrando facilmente os pontos ótimos de operação para cada configuração e encontrar uma configuração que melhor atenda a condição de trabalho.

A avaliação de desempenho em geral é feita de duas formas, em condições padronizadas estáticas ou dinâmicas, ou em operação em campo. A avaliação em condições padronizadas geralmente é disposta na forma de normas, onde seu conteúdo é elaborado para que seus procedimentos permitam uma comparabilidade de resultados independentes da posição geográfica do ensaio, desde que siga a normativa. O desempenho a campo segue um procedimento similar à normativa, porém neste caso não podemos ter um grau de comparabilidade de resultados, devido principalmente a interação da máquina e do solo, que mesmo o teste sendo realizado em um mesmo local está propenso a variações temporais e espaciais, por exemplo, umidade do solo e heterogeneidade do solo.

Dentre as máquinas agrícolas a que possui maior versatilidade é o trator, convertendo através de um motor a energia química presente no combustível em energia térmica e posteriormente em energia mecânica, após isso a energia mecânica aciona outros equipamentos, podendo prover energia hidráulica, pneumática e elétrica, além da saída de energia mecânica através de um eixo girante chamado de tomada de potência (TDP) e a energia na forma de tração disponível nas rodas através de relação de transmissão entre o motor e os rodados provida por um sistema de transmissão de relações fixas, através de engrenagens, ou infinitamente variável (CVT).

Um dos problemas que surgem durante a construção e planejamento de um sistema de coleta é o alto custo envolvido nas peças e dispositivos que a compõem, devendo ter a proteção necessária para operar em um ambiente propenso a vibrações, particulados, umidade e

precipitação. Os coletores de dados disponíveis comercialmente apresentam como principais problemas à pesquisa, a baixa informação sobre o funcionamento e códigos de programação fechados e limitados para uma pesquisa aprofundada, onde se devem saber todas as transformações do sinal desde a leitura até o armazenamento de dados. O fato de não dispor de informações de operação também limita a escolha de sensores a equipamentos da própria fabricante, limitando possibilidades de um desenvolvimento de sistemas complexos com múltiplas fabricantes ou integração de sistemas de desenvolvimento próprio.

Objetivo Geral

Construir coletor de dados para avaliação de máquinas agrícolas de baixo custo com componentes amplamente disponíveis no mercado nacional, capaz de coletar sinais analógicos, sinais de pulso e leitura de porta de comunicação GPS, permitindo uma avaliação com qualidade e confiabilidade.

Objetivos Específicos

- Mensurar o desempenho da máquina agrícola em avaliação através de sensores correspondentes às variáveis de operação e uma taxa de coleta de dados compatível com os eventos, evitando perda de dados por baixa taxa de amostragem.
- Obter de dados em linha de tempo de sensores de pulso, sensores de tensão, células de carga, radares de velocidade, receptor GPS.
- Conversão de sinais analógicos com baixo ruído e alta resolução.
- Dispor os parâmetros de funcionamento das máquinas em teste de forma clara e em arquivo de formato texto separado por espaços para fácil importação em programas de planilhas, com capacidade de armazenamento continua de mais de 6 meses operando com taxa de uma amostra por segundo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE COLETA DE DADOS

Castro et al. (2017) descrevem que sistemas de aquisição de dados são usados em uma ampla variedade de aplicações de instrumentação científica, médica e industrial. Eles são tipicamente instrumentos de propósito gerais projetados para medir sinais de tensão ou corrente produzidos por sensores. Após um estágio de condicionamento, esses sinais são lidos e digitalizados com o uso de microcontroladores, onde os dados são processados e finalmente enviados para armazenamento de dados em um disco rígido ou memória flash externa. Conforme Tatsis et al. (2015), o *datalogger* consiste em três partes principais, um conversor analógico digital (ADC), uma unidade central de processamento; que é um microcontrolador (MCU *Micro Controler Unit*) e um dispositivo de armazenamento. Dispositivos eletrônicos de captura de dados são sistemas de aquisição de dados usados para monitorar e controlar variáveis ambientais, o que os torna particularmente úteis na implementação de sistemas agrícolas de precisão (LOZOYA, 2016).

Fuentes et al. (2014) consideram que dispositivos de coleta de dados, comumente conhecidos como registradores de dados, são muito caros, requerem software especial (com maior custo e exigem habilidades específicas adicionais) e exige que uma fonte de alimentação ou um computador pessoal estejam sejam conectados o tempo todo. Além disso, registradores de dados típicos não correspondem ao tipo de sensores a serem bem medidos com relação à precisão, número insuficiente de canais de entrada ou canais de entrada inadequados para a conexão de sensores específicos, como no caso de termopares ou sensores digitais.

Atualmente, os coletores de dados disponíveis no mercado são, em termos gerais, precisos, robustos e com tecnologia confiável, porém apresentam algumas desvantagens relevantes como: falta de flexibilidade (eles não têm capacidade de integrar dados, geralmente são configurados para monitorar variáveis específicas e essa é a única informação que eles fornecem), baixa escalabilidade (difícil integração com outros dispositivos e sistemas de computador para complementar sua funcionalidade e formar sistemas mais complexos) e falta de conectividade (nenhuma informação é fornecida sobre protocolos de comunicação e acesso a dados) (LOZOYA, 2016).

2.2 COLETA DE DADOS EM CAMPO

Segundo Fuentes et al.(2014), as aplicações portáteis de aquisição de dados devem atender a vários requisitos rigorosos que não estão presentes nos sistemas tradicionais de laboratório. Esses sistemas são usados em ambientes agressivos que devem ser considerados ao selecionar este tipo de equipamento, como temperaturas extremas, umidade, poeira, choque e vibração.

A capacidade de definir estados de carga do trator em campo oferece o potencial de especificar e caracterizar melhor a taxa de consumo de combustível para várias operações de campo. Para a mesma operação de campo, o trator apresenta diversas demandas de carga e taxas correspondentes de uso de combustível, uma vez que manobra por passes retos, curvas, operação suspensa para ajustes, reparo e manutenção e operações de transferência de biomassa ou outros materiais. É difícil determinar a taxa real de combustível e os estados de carga do maquinário agrícola usando modelos de previsão de força e, portanto, é necessária alguma forma de aquisição de dados em campo (PITLA et al., 2016).

Para Fuentes et al.(2014), os sistemas remotos de aquisição de dados são tipicamente instrumentos autônomos que, uma vez configurados, podem medir, registrar e exibir dados sem intervenção do operador ou do computador. Esses sistemas são capazes de receber dados de várias entradas, recurso de condicionamento de sinal integrado e podem gravar simultaneamente dados de sensores diferentes, Kortenbrucket et al.(2017) possuem um pensamento convergente com Fuentes et. al.(2014), e complementam ao dizer que ao mesmo tempo, o sistema de registro deve ser pequeno, robusto e fácil de instalar, para que a instalação e o uso não sejam perturbadores para o motorista durante o processo de operação.

Quanto ao desenvolvimento de equipamentos próprios Osroosh et al. (2018), relatam o surgimento de uma ampla gama de hardware e software de código aberto nos últimos anos trouxe muitas oportunidades para o setor agrícola. Muitas ferramentas de detecção, que antes eram muito caras ou muito delicadas para serem implantadas no campo, podem ser desenvolvidas com baixo custo para o monitoramento de culturas de campo.

Boriboonsomsin et al. (2018) relatam que, recentemente os registradores de dados da unidade de controle do motor (ECU) a bordo surgiram como uma ferramenta útil para estudos de desempenho de motores e veículos. Uma vez conectado ao barramento CAN (Controller Area Network) do veículo através da porta OBD (*On-Board Diagnostic*) (para a maioria dos veículos leves) ou da porta J1939 (para a maioria dos veículos pesados), um registrador de dados da ECU (*Engine Control Unit*) pode registrar parâmetros do motor como velocidade de rotação, velocidade do motor, taxa de combustível, etc. a uma alta frequência.

2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Uma bancada de testes é geralmente usada para protótipos em estágio inicial, as pistas com protuberâncias para testes avançados e o teste de campo como verificação final antes de ser lançado no mercado (MATTETTI et al., 2015).

Em tratores agrícolas de rodas o método mais comum de instrumentação para avaliação de desempenho é a medição dos parâmetros realizados por RASOOL & RAHEMAN (2018) sendo o sistema de instrumentação desenvolvido para medir a velocidade do motor, o patinamento do trator e a tração na barra de tração, onde um sensor de captação magnética foi usado para medir a velocidade do motor e dois sensores de proximidade foram usados para medir a velocidade teórica e real do trator, sistema similar ao utilizado por RUSSINI (2009). Conforme Kumar et al.(2016), a eficiência de trabalho do trator agrícola depende do patinamento da roda, parâmetros do pneu, parâmetros do solo e outros parâmetros operacionais, mas os parâmetros do solo e dos pneus são considerados aproximadamente iguais para várias operações. O patinamento da roda é um dos principais parâmetros a serem considerados para obter a máxima eficiência de tração. O escorregamento da roda depende da força de tração do implemento, à medida que a força de estiramento aumenta o escorregamento da roda também aumenta e à medida que a força de tração aumenta, a transferência de peso ocorre do eixo dianteiro do trator para o eixo traseiro.

Atualmente, uma nova geração de dispositivos, como microcontroladores e microcomputadores baseados em CPU (*Central Processing Unit*), está disponível, sendo apresentado como computador de placa única para fins educacionais, chama a atenção de engenheiros, informática e pesquisadores devido às suas vantagens: fácil de programar, portátil, potente, confiável e barato; eles estão começando a ser proveitosamente utilizadas também em muitas pesquisas de campo (PASQUALI et al., 2017), pode-se ver isso em FUENTES et al. (2014) os quais utilizaram a plataforma Arduíno® como base de um sistema de coleta de dados aplicados em um ambiente de campo, juntamente com outras placas de fabricação própria, de maneira similar, KUMAR et.al. (2016) criaram um sistema com a plataforma e amplificadores operacionais com finalidade de medir força de tração e patinamento em um trator agrícola. Analogamente, PASQUALI et.al (2017) aplicaram a plataforma de desenvolvimento microcomputadorizada Rapsberry Pi® para desenvolver um coletor de dados autônomo para registro de movimentação em regiões árticas.

A utilização de coleta de dados em máquinas tem obtido sucesso em avaliar identificar problemas ou variáveis em máquinas agrícolas, principalmente em tratores, geralmente correlacionando variáveis de desempenho e consumo, tais como: força de tração, consumo de combustível, velocidade angular dos rodados e velocidade real da máquina, bem como parâmetros que visam operação segura do operador e máquina, sendo os principais, vibração, ruído e temperatura.

2.4 SENSORES E FREQUÊNCIAS

MOITZI et al.(2013) construíram uma instrumentação onde o consumo de combustível volumétrico foi medido continuamente com uma incerteza de medição de 0,3% com uma queda de pressão insignificante entre a entrada e a saída. Além disso, um liberador de bolhas de ar e um trocador de calor (entre a entrada e um combustível de saída) foram instalados no sistema de medição de combustível. Os sinais do sensor de radar (medição da velocidade do veículo) e do sensor de transmissão (medição da velocidade da roda) foram digitalizados com um *datalogger* multicanal (Squirrel Data Logger 2020) com uma taxa de varredura de 1 Hz.

De maneira análoga BATTIATO & DISERENS (2017) mediram a força de tração através de células de carga com capacidades de 50 kN e 200 kN (HBM U2B, Darmstadt, Alemanha) a uma frequência de 1 Hz. A velocidade real foi medida por um sensor de velocidade de radar de 100 Hz (Dickey-john RVS2, Auburn, Illinois, EUA), e a velocidade de rotação da roda foi registrada por um sensor de velocidade de roda sem fio de dois pulsos por revolução de roda do trator puxando. Todos esses parâmetros foram registrados e exibidos por um sistema de aquisição automática no trator de frenagem. O deslizamento foi determinado a partir da velocidade de avanço, a velocidade angular e a circunferência de rolamento a uma frequência de 1 Hz.

HASIMO & SHEN (2014) desenvolveram uma bancada de testes de força de tração para sulcadores, onde o dinamômetro consistia de quatro células de carga triaxial (Michigan Scientific TR3D-A-1) intercaladas entre duas placas de alumínio. Um registrador de dados (Campbell Scientific CR1000) e um computador foram usados para registrar dados de força, enquanto o projeto de sulcador de solo percorria o compartimento de solo.

Outro método de avaliação foi utilizado por Kin et al. (2013), construindo um sistema de coleta de dados de torque com transmissão sem fio, sendo o sistema de medição de carga foi construído com extensômetros (CEA-06-250US-350, MicroMeasurement Co., EUA) para

medir o torque, interfaces de E/S de rádio-telemetria (R2, Manner, Alemanha) para adquirir os sinais do sensor e um sistema embarcado para analisar a carga. Para a medição da carga da transmissão, um extensômetro com uma antena de rotor foi instalado no eixo de entrada da transmissão, e uma antena estática foi instalada na caixa do eixo. Para a medição da carga da TDP, um extensômetro foi instalado na luva do volante e uma antena do rotor e uma antena do estator foram instaladas no volante e na carcaça do motor, respectivamente. O sistema embarcado tinha a resolução máxima de 24 bits. O sinal de carga dos medidores de tensão dos transdutores de torque calibrados foi digitalizado com uma taxa de amostragem de 19,2 kHz em uma resolução de 24 bits e armazenado no sistema embarcado (MGC, HMB, Alemanha). Tal método é similar ao utilizado por Perozzi et al.(2013) que instrumentaram tratores com objetivo de avaliar o tempo dispendido do em marcha lenta, utilizando de um registrador de dados autônomo, capaz de armazenar os dados provenientes dos diferentes sensores embutidos, foi instalado em cada trator. Os sinais da marcha selecionada e torque do motor foram adquiridos, ambos amostrados na frequência de 50 Hz. A condição de marcha lenta foi detectada como a instância em que a transmissão do trator estava em ponto morto e o motor funcionava com torque inferior a 12% do torque máximo fornecido pelo motor de cada trator.

LOVARELLI et al. (2018) coletaram dados da rede interna de um trator, utilizando registrador de dados usado para a aquisição e armazenamento de dados do barramento CAN e o software Dewesoft® que é equipado com a chave de conversão do barramento, de maneira similar PARAFOROS et al. (2017) utilizaram um registrador de dados GL2000 CAN-Bus (Vector Informatik GmbH, Stuttgart, Alemanha) conectado à interface de diagnóstico CAN-Bus para registrar dados de comunicação J1939 e ISO 11783. Os dados registados foram armazenados em um cartão de 2 GB SDHC, sendo possível de ser aumentada até 32 GB de capacidade de armazenamento. Segundo Gonzáles (2018), a utilização de gravação de dados em cartão SDHC limita a taxa de gravação abaixo de 80 SPS, podendo ser utilizado um sistema com comunicação USB e um computador quando é necessária uma taxa de coleta maior.

A técnica adotada por BOLDAJI et. al. (2016) para medição da resistência a penetração foi a utilização de um penetrômetro horizontal consistindo em uma estrutura para montagem completa em um trator e rodas para ajustar a profundidade de trabalho/medição, um dente para cortar o solo, um cone horizontal e eixo como a ponta sensora e uma célula de carga calibrada e um sistema de aquisição de dados com interface para medir a resistência do solo ao penetrômetro. Sendo, um cone de 30 mm de diâmetro com um ângulo de 45° foi conectado a uma célula de carga 5000-N (Bongshin Modelo DBBP, Bongshin Load Cell Co., Ltd., Coreia)

com uma sensibilidade nominal de 3 mV/V atrás o dente que mediu a resistência a penetração diretamente transmitida da ponta cônica. A saída da célula de carga foi registrada por um registrador comercial de dados IOtech (IOtech, Personal Daq/56™ Series, EUA) com uma taxa de amostragem de 32 Hz. De forma similar GILANDEH & AJDADI (2016), construíram um protótipo para medição do solo com múltiplas hastes de medição em diferentes profundidades.

2.5 INSTRUMENTAÇÃO

2.5.1 Conceitos

2.5.1.1 *Conceito de instrumentação*

“Instrumentação é qualquer dispositivo (instrumento), ou conjunto de dispositivos, utilizado com a finalidade de se medir, indicar, registrar ou controlar as variáveis de um processo” (STARLING, 2003, p. 2).

2.5.1.2 *Aquisição de dados*

“A aquisição de dados é o processo pelo qual os fenômenos físicos do mundo real são transformados em sinais elétricos que são medidos e convertidos em um formato digital para processamento, análise e armazenamento por um computador” (PARK & MACKAY, 2003, p. 1).

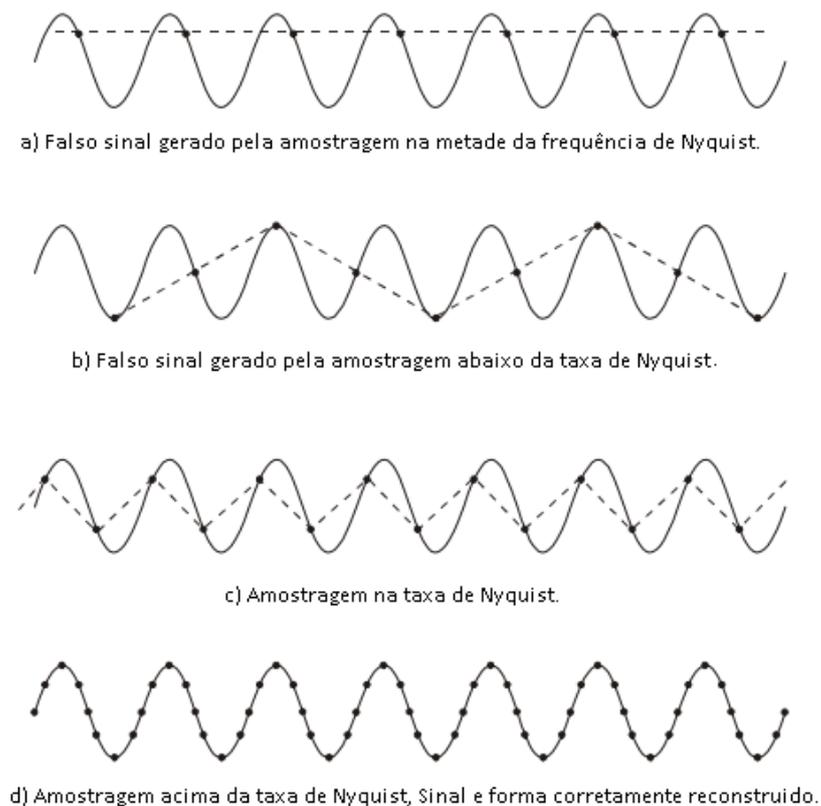
2.5.1.3 *Sensores*

Transdutores e sensores fornecem a interface entre o mundo real e o sistema de aquisição de dados, convertendo fenômenos físicos em sinais elétricos que o condicionamento de sinal e / ou o hardware de aquisição de dados podem aceitar. Os transdutores disponíveis podem realizar praticamente qualquer medição física e fornecer uma saída elétrica correspondente. Por exemplo, termopares, detectores de temperatura resistivos, termistores e sensores que convertem a temperatura em um sinal analógico, enquanto os medidores de vazão produzem sequências de pulso digitais cuja frequência depende da velocidade do fluxo (PARK & MACKAY, 2003, p. 3).

2.5.1.4 Taxa de coleta

A taxa de coleta deve possuir uma amostragem suficiente para não suprimir resultados que possam ser relevantes à análise. Ao analisar os dados onde o evento observado ocorre de forma periódica e devemos conhecer essa frequência, devemos possuir uma taxa de coleta adequada segundo o Teorema da amostragem de Nyquist–Shannon, a frequência de coleta para obter uma reconstrução perfeita deve ser no mínimo maior que duas vezes a frequência do evento observado. (PARK & MACKAY, 2003, p. 144).

Figura 1- Efeito da taxa de amostragem em sinais periódicos.



Fonte: Adaptado de (John Park & Steve Mackay, 2003, p.144.)

2.5.1.5 *Range*

Um transdutor geralmente é construído para operar dentro de um intervalo especificado chamado de *range*. A faixa é definida como os valores mensuráveis mínimo e máximo de uma variável de processo entre os quais os limites definidos de todas as outras características especificadas do transdutor (isto é, sensibilidade, precisão etc.) são atingidos. Um termopar, por exemplo, pode funcionar bem fora da faixa de operação especificada de 0°C a 500°C, porém sua sensibilidade fora dessa faixa pode ser muito pequena para produzir medições precisas ou repetíveis (PARK & MACKAY, 2003, p. 18).

2.5.1.6 *Condicionador de sinal*

Condicionamento de sinal é o termo geralmente usado para descrever o pré-processamento necessário para converter os sinais elétricos recebidos dos transdutores em sinais que as placas de aquisição possam aceitar e funcionar corretamente (PARK & MACKAY, 2003, p. 36).

2.5.1.7 *Conversor analógico digital (conversor A/D)*

Sinais do mundo real são sinais analógicos, representando alguns parâmetros físicos medidos para cada instante no tempo. Eles devem ser convertidos em um sinal de tempo discreto para serem interpretados e processados pelos computadores. Como o próprio nome indica, conversores analógico-digitais (conversores A/D, ADCs) medem uma tensão de entrada analógica e a convertem em um formato de saída digital. Portanto, os conversores A/D representam o coração de uma placa A/D ou de um sistema de aquisição de dados (PARK & MACKAY, 2003, p. 124).

2.5.1.8 *Número de bits*

Um sinal digital ou binário pode ter apenas dois níveis ou estados especificados possíveis; um estado 'ligado', no qual o sinal está no nível mais alto, e um estado 'desligado', no qual o sinal está no nível mais baixo. Por exemplo, o sinal de tensão de saída de uma chave

lógica transistor-a-transistor (TTL) pode ter apenas dois estados - o valor no estado 'ligado' é de 5 V, enquanto o valor no estado 'desligado' é 0 V (PARK & MACKAY, 2003, p. 14).

Quando precisamos a leitura precisa de um sensor, podendo detectar pequenas variações do sinal recorreremos a conversores com maior número de *bits*. O número de possibilidades em bits é calculado pela equação 1:

$$n = 2^b \quad (1)$$

Onde, n é o número de possibilidades e b o número de bits do conversor.

2.5.1.9 Resolução

A especificação de resolução citada pelos fabricantes de placas ADC refere-se à resolução do ADC usado na placa. Geralmente, é expresso pelo número de bits que o conversor usa para representar a tensão de entrada analógica ou como uma fração do número máximo de níveis discretos, que pode ser usado para representar o sinal analógico. A resolução define implicitamente o número de faixas discretas nas quais a faixa de entrada de tensão de escala completa pode ser dividida para aproximar uma tensão de entrada analógica (PARK & MACKAY, 2003, p. 141).

Resolução é a mínima variação que um conversor pode detectar e corresponder uma saída digital, esse valor depende do *range* e do número de *bits* do conversor, podendo ser calculado através da equação 2:

$$R = \frac{\Delta}{2^b} \quad ((2))$$

Onde, Δ é o range do conversor, e b o número de bits do conversor.

Por exemplo, em um conversor de 15 bits com range 0-4096mV possui uma resolução de:

$$R = \frac{4096}{32768} \quad ((3))$$

$$R = 125\mu V \quad ((4))$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DE PROJETO

Através da leitura de artigos com utilização de coletores de dados, foram encontrados recorrentes comentários sobre altos preços e limitações de coletores de dados, em alguns casos os autores recorreram a fabricação própria de seus coletores de dados, porém com um conhecimento pouco aprofundado na área o coletor de dados pode se tornar uma fonte geradora de erros nos experimentos científicos.

Para encontrar maiores informações sobre a utilização e problemas enfrentados na utilização dos coletores de dados, foi realizada uma pesquisa no portal de periódicos da CAPES, onde foram feitas buscas por assunto e utilizando as palavras-chave “*datalogger*” e “*data logger*”, considerando os últimos 22 anos. Foram encontrados 1.166 resultados, sendo selecionados os artigos que possuíam *datalogger* utilizados em ambientes externos, em máquinas agrícolas ou expostas à vibração. Destes, foram determinados os tipos de sensores e sinais mais recorrentes, a taxa de coleta, resolução e proteção quanto a fatores ambientais, bem como a demanda de novas características que atendam ao avanço tecnológico.

Figura 2 - Filtros utilizados na Busca.

The image shows a search interface with the following elements:

- Search Criteria:** Two rows of filters. The first row has dropdowns for "no assunto" and "contém", followed by a text input "data logger" and an "OR" dropdown. The second row has dropdowns for "no assunto" and "contém", followed by a text input "datalogger".
- Advanced Filters:** A sidebar on the right with dropdowns for "Data de publicação:" (Qualquer ano), "Tipo de material:" (Todos os itens), and "Idioma:" (Qualquer idioma). Below these are date range selectors for "Data Inicial:" (01/01/1997) and "Data Final:" (31/12/2019).
- Buttons:** "Buscar" (blue), "Clear" (white), and "Busca simples" (blue).
- Results Summary:** "Resultados de 1 - 10 para 1.166 para Portal de Periodicos". Includes "Ordenado por: Relevância" and "Mostrar somente Periódicos revisados por pares (343)".
- Result Card:** A card for the article "Validating the accuracy of activity and rumination monitor data from dairy cows housed in a pasture-based automatic milking system" with a "Todas versões" link.
- Personalization:** A box on the left with "Personalize your results" and an "Edit" link.

Fonte: Autor.

Foram realizadas buscas utilizando os mesmos parâmetros temporais e alterando as palavras chave para “*data acquisition system*”, retornando 2232 resultados com sistemas dependentes da utilização de computadores auxiliares e um software de aquisição, utilização do

hardware sem projeto e fabricação de um coletor de dados, não sendo utilizadas por não condizer com o objetivo deste trabalho. De forma similar a pesquisa por “sistema de aquisição de dados” retornou 3666 resultados, apresentando trabalhos de utilização de equipamentos de coleta de dados, ao condicionar as palavras “sistema de aquisição de dados” e “agricultura” obtemos 1049 resultados. Utilizando a forma abreviada de “DAC” sigla do inglês para aquisição de dados, e “*agriculture*” foi obtido 462 resultados, obtendo trabalhos onde foi utilizado placas de aquisição de dados dependentes de um computador para controle e armazenamento de dados.

Através das buscas efetuadas as palavras chaves que retornaram resultados de maior representatividade para o projeto de coletores de dados foi “*datalogger*” e “*data logger*”, sendo estas utilizadas como base de pesquisa dos requisitos de projeto por apresentar equipamentos projetados e construídos com operação independente de computadores auxiliares ou softwares de aquisição.

Após a busca os 1166 artigos foram filtrados e selecionados caso atendessem a algum dos seguintes filtros:

- Utilização em ambiente similar ao agrícola
- Coletores de dados de construção própria ou não
- Problemas em sistemas de coleta de dados
- Experimentação com máquinas agrícolas e parâmetros avaliados e tipos de sensores utilizados.
- Descrição de limitações referente a sistemas de coleta de dados

Através dos artigos selecionados foram extraídas informações de características desejáveis dos sistemas de coleta de dados, sendo estas utilizadas para definição de um requisito de projeto.

As informações coletadas foram arranjadas em quadros para melhor entendimento, o Quadro 1 identifica a descrição da causa relatada pelos autores e o requisito necessário para suprir a demanda, já o Quadro 2 possui as especificações de taxa de coleta e principais tipos de sinais utilizados nos trabalhos realizados.

Quadro 1 - Requisitos desejáveis para um coletor de dados de em campo.

Autor	Descrição	Requisito
FUENTES et. al., 2014	Número insuficiente de canais de entrada ou inadequados à de sensores específicos	Arquitetura modular expansiva, módulos específicos á aplicação.
LOZOYA, 2016	Ausência de capacidade de integrar a outros sistemas e falta de informação sobre protocolos de comunicação e acesso a dados.	Programação em código aberto e em programa de software livre.
FUENTES et. al., 2014	Utilização em ambientes agressivos com temperaturas extremas, umidade, poeira, choque e vibração.	Invólucro dos módulos impermeáveis. Componentes menores com compensação de temperatura e baixo erro.
KORTENBRUCKET et al., 2017	O sistema de registro deve ser pequeno, robusto e fácil de instalar, para que a instalação e o uso não sejam perturbadores para o motorista durante a operação.	Componentes eletrônicos compactos, módulos com montagem compacta, possibilidade de operar externamente a cabine de operação.

Fonte: Autor

Quadro 2 - Taxa de coleta e tipos de sinais avaliados em campo.

Autor	Taxa de Coleta	Tipo de sinais
BATTIATO & DISERENS (2017)	1 SPS	Pulso, Célula de carga
GILANDEH & AJDADI (2016)	32 SPS	Célula de carga
HASIMO & CHEN (2014)	-	Célula de carga
MOITZI et al.(2013)	1 SPS	Pulso
PEROZZI et al.(2013)	50 SPS	Célula de carga, chaves fim de curso
KIN et al. (2013)	19,2 kSPS	Célula de carga

Fonte: Autor

Como pode ser observado no Quadro 2 as taxas de coleta para avaliações de desempenho de máquinas ficaram em maioria incluídas na faixa de um a 50 amostras por segundo, sendo utilizadas taxas maiores em casos especiais que visam análise de frequências de sinais e não os desempenhos médios do mesmo.

Poucos autores descrevem as especificações dos coletores de dados utilizados nos experimentos, devido às poucas informações mencionadas, foram utilizadas as folhas de

especificações informadas pelos fabricantes dos modelos utilizados, tais informações estão dispostos no

Quadro 3, juntamente com autor que fez usado equipamento e a marca e modelo do mesmo.

Quadro 3 - Especificações de coletores de dados utilizados por autores.

Autor	MOITZI et al.(2013)	BOLDAJI et. al. (2016)	HASIMO & CHEN (2014)
Modelo	Squirrel Data Logger 2020	IOtech, Personal Daq/56	Campbell Scientific CR1000
Fonte de energia interna/externa	6 pilhas AA/ 10-18V DC	6-16V DC	12V DC
Memória interna	128 MB	Operação auxiliada por computador	4 MB
Canais analógicos Simples	16	20	16
Canais analógicos diferenciais	8	10	8
DAC	2	1	1
Canais de pulso	2@ 64kHz 2@ 100Hz	4@ 1MHz	2@ 250kHz
Entradas digitais	8	16	16
Alta tensão	2 máx 60V DC	-	-
Canais internos	Temperatura	-	Bateria e temperatura
Display linhas/colunas	2/20	-	-
Leitura RS232	-	-	5

Fonte: Autor.

3.2 PROJETO DO DATALLOGGER

O projeto deste coletor de dados foi elaborado seguindo os requisitos e características apontadas pelos quadros 1, 2 e 3, seguindo a premissa de baixo custo. Sendo o projeto desenvolvido em uma arquitetura modular, o mesmo foi dividido em módulos para melhor entendimento.

- Módulo central de registro de dados.
- Módulo contador de pulsos.
- Módulo de sinais analógicos.
- Módulo de comunicação.
- Módulo de saída de dados

3.3 MÓDULO CENTRAL DE REGISTRO DE DADOS

3.3.1 Microcontrolador

O projeto do módulo central foi feito com base em requisitos observados na revisão bibliográfica deste trabalho, seguindo a premissa de um sistema de coleta de fácil manutenção, expansão e baixo custo.

Para dimensionar o processador central, o sistema foi analisado em conjunto de modo a obter o número de portas de comunicação e leitura necessárias para um *datalogger* genérico, sendo definidos com base nos módulos auxiliares.

O microcontrolador do modulo central escolhido foi o Atmega2560 devido ao número de portas digitais e de comunicação, estando o mesmo incluso na plataforma Arduíno na fase de protótipo, sendo mantida a mesma funcionalidade da plataforma em uma versão final, a fim de proporcionar acesso e modificação aos usuários do coletor de dados. Na fase inicial do protótipo foi cogitado o Atmega328p como microcontrolador do módulo central, porém foi substituído devido ao código base exceder o valor de memória disponível. As especificações dos controladores Atmega2560 e Atmega328p estão dispostas no Quadro 4.

Quadro 4 - Especificações dos microcontroladores.

Microcontrolador	Atmega328p	Atmega2560
Tensão de operação	5V	5V
Tensão de entrada	7-12V	7-12V
Tensão de entrada limite	6-20V	6-20V
Pinos Digitais entrada/saída	14 (6 PWM)	54 (15 PWM)
Entradas analógicas	6	16
Memória flash	32K	256K
SRAM	2KB	8KB
EEPROM	1KB	4KB
Velocidade de Clock	16MHz	16MHz

Fonte: Autor.

3.3.2 Módulo de alimentação de energia

Para adequar as tensões e ruídos das fontes de energia, foi incluído no módulo central um módulo de controle de potência e fonte para sinais de precisão, permitindo o coletor de dados operar entre 6,5 e 32V sem alteração na leitura de sinais, provendo saídas de tensão reguladas de 5V, sendo uma dedicada a alimentação de sensores em geral e a segunda para alimentação de pontes resistivas.

3.3.3 Relógio de tempo real (RTC – Real Time Clock)

O *datalogger* tem o significado de um registrador de dados no tempo, para sincronismo de tempo foi utilizado um relógio de tempo real de baixo erro, com compensação de temperatura e possuindo bateria interna para manutenção de horário mesmo com o equipamento desligado, podendo durar até 8 anos com erro de ± 120 segundos por ano, mesmo erro declarado pelas especificações do *datalogger* Campbell Scientific modelo CR1000.

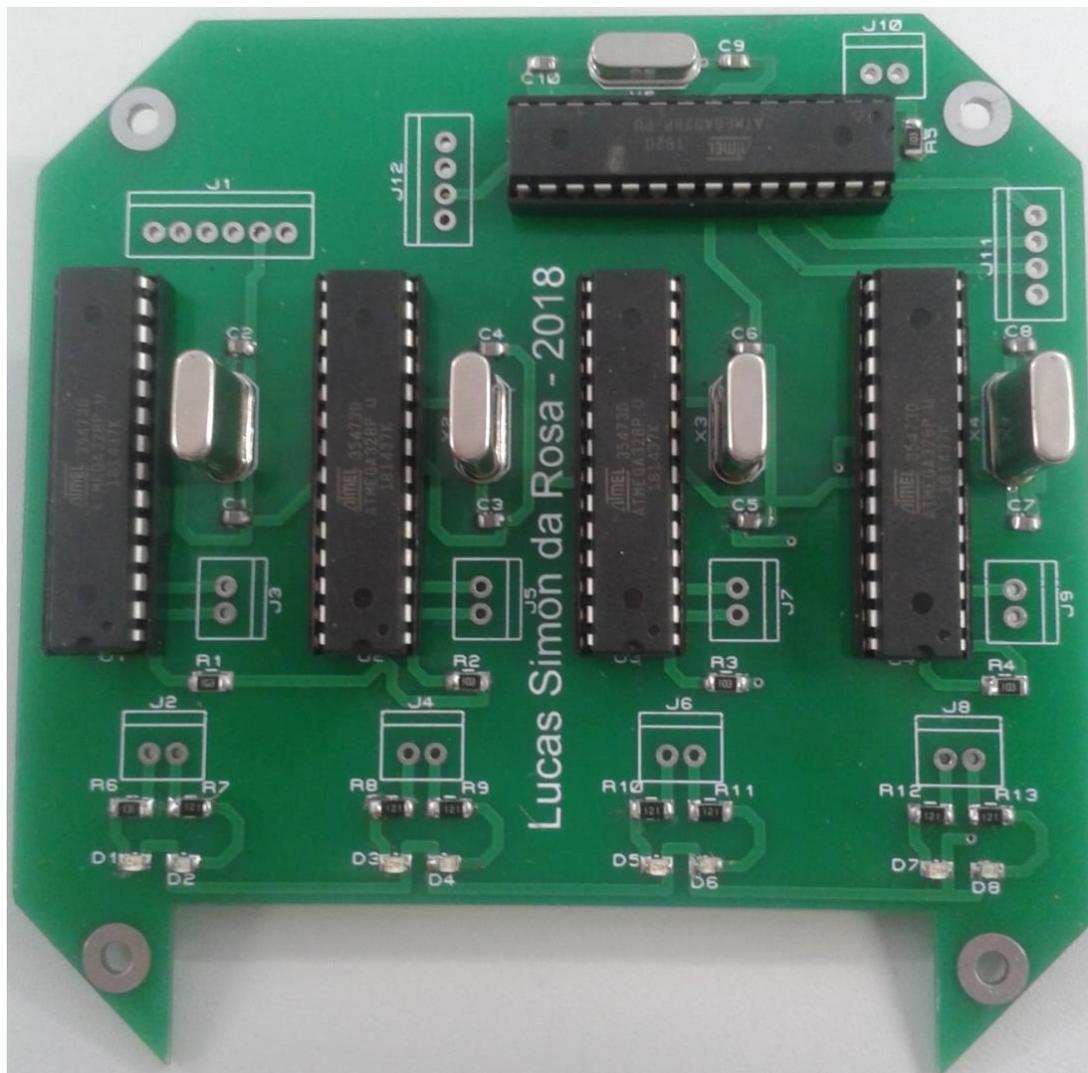
3.4 MÓDULO CONTADOR DE PULSOS

O módulo contador de pulsos foi projetado de modo a ler pulsos em nível de tensão 0-5V, sendo os sensores utilizados em maioria: sensores de Efeito Hall, indutivos e encoders, que proporcionam sinais de saída de onda quadrada. Para maior confiabilidade e evitar omissão de

pulsos, o módulo contador de pulsos conta com um microprocessador por canal de pulso, visto que múltiplos canais de pulso operando com interrupções no processador podem gerar erros de leitura. Cada módulo contador de pulsos conta com 4 canais, possibilitando leitura de pulsos genéricos ou *encoders* direcionais quando operando com 2 canais por processador.

Para identificação de leitura de pulsos de frequências abaixo de 60Hz o módulo conta com indicador LED (*Light Emissor Diode*) que facilitam o diagnóstico e acompanhamento de experimentos.

Figura 3 - Módulo contador de Pulsos



Fonte: Autor.

3.5 MÓDULO DE SINAIS ANALÓGICOS

O principal componente na leitura de um sinal analógico é o conversor analógico-digital ADC (*Analogic to Digital Converter*), as características de um ADC definem a velocidade da conversão, número de bits, e faixa de medição.

Em geral os ADC dos coletores de dados são multiplexados, permitindo a leitura de vários canais para um mesmo conversor, porém o processo de multiplexação diminui a taxa de amostragem em relação inversa ao número de canais.

Para não ocorrer perda significativa de taxa de amostragem o projeto conta com 1 ADC para quatro canais, possuindo 4 ADC de 16 *bits* por módulo, totalizando 16 canais analógicos ou 8 canais diferenciais, mais 14 canais em 1 ADC de 10 *bits*.

3.5.1 Amplificadores de sinal

O módulo analógico conta com amplificadores programáveis via código e amplificadores de ganho fixo de 100 vezes selecionável via contato por ponto de solda. Os ganhos programáveis e resolução são demonstrados no Quadro 5.

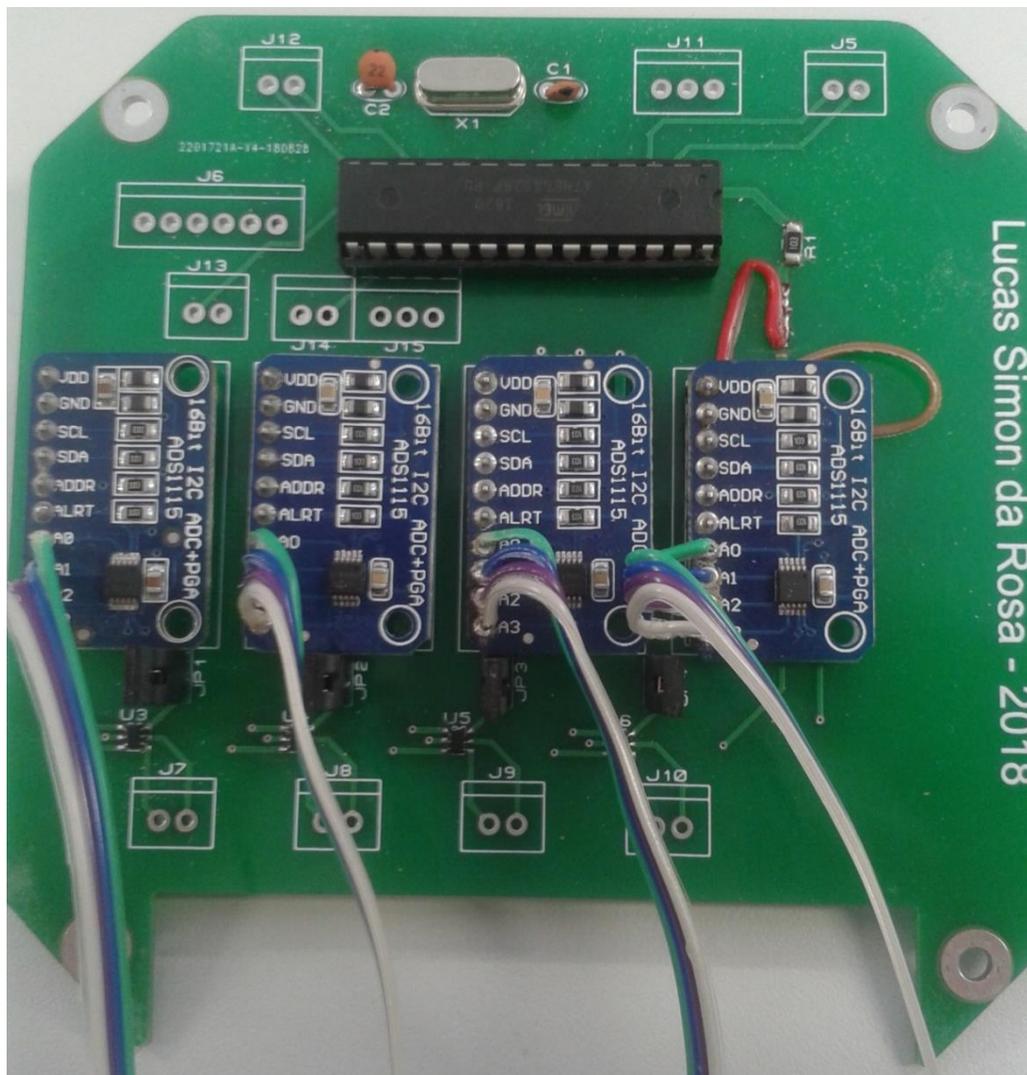
Quadro 5 - Especificações das configurações de leitura possíveis.

Ganho	2/3	1	2	4	8	16
Faixa de medição	±6,144V	±4,096V	±2,048V	±1,024V	±0,512V	±0,256V
Resolução Simples (µV)	375	250	125	62,5	31,25	15,625
Resolução Diferencial (µV)	187,5	125	62,5	31,25	15,625	7,8125
Resolução Simples com ganho fixo (µV)	3,75	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625

Forte: Autor.

A Figura 4 mostra o módulo de sinais analógicos, estando os amplificadores de ganho fixo representados por U3, U4, U5, U6, e os conectores de ligação JP1, JP2, JP3 e JP4 respectivamente. As leituras amplificadas são feitas por tensão diferencial em J7, J8, J9 e J10.

Figura 4 - Módulo de sinais analógicos.



Fonte: Autor.

3.6 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

Módulo responsável pela leitura de comunicações seriais em nível TTL e RS-232, pode contar com até 12 entradas TTL/RS-232. Responsável pela leitura de equipamentos como GPS e outros equipamentos com comunicação serial.

3.7 MÓDULO DE SAÍDA DE DADOS

Informa ao usuário os dados dos sensores em tempo real ou após o experimento, estando incluídos neste módulo um display LCD (*Liquid Crystal Display*) de 4 linhas por 20 colunas, um cartão de memória SD de até 8GB e comunicação USB via porta tipo “B”.

3.7.1 Display

Informa data, hora, tensão da bateria e permite personalizar a exibição de informações úteis na tela, por exemplo, velocidade via GPS, consumo de combustível, força na barra de tração.

3.7.2 Módulo do cartão SD

Permite a gravação de até 8GB de dados em um cartão microSD, formatados em partição FAT32. Possui rotina de gravação que cria um arquivo de dados por dia, dificultando a ocorrência de arquivos corrompidos e arquivos de tamanho excessivo. Formato de arquivo de dados do tipo texto separado por espaços, facilmente importável para diversos programas, possui nomenclatura do arquivo no formato “ano/mês/dia (AAAAMMDD)” para fácil organização cronológica em computadores. Possui limite de gravação em cartão SD de 80 SPS.

3.7.3 Comunicação USB tipo B

Permite comunicação e coleta de dados diretamente no computador, bem como acompanhamento gráfico de variáveis através da IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino. Permite coleta de dados com taxas superiores a 80 SPS, limite do cartão SD, em taxas de comunicação configuráveis.

3.8 INVÓLUCRO

Inicialmente pensado para ter resistência mecânica e eletromagnética, feito em alumínio fundido em módulos conforme a Figura 5.

Devidos a defeitos de porosidade no processo de fundição e o diâmetro dos furos dos conectores o invólucro ficou frágil, e quebrou durante a montagem, sendo adotada na fase de protótipo a montagem na forma de gabinete de placas espaçadas, que permitem uma fácil montagem, modificação e expansão dos módulos do coletor de dados conforme a Figura 6

mostra o processo de montagem das placas espaçadas e o gabinete montado pronto para receber os conectores.

Figura 5 - Camadas dos módulos do coletor de dados (á esquerda módulos individuais, á direita montagem).



Fonte: Autor.

Figura 6 - Montagem dos módulos espaçados (á esquerda montagem das placas, á direita estrutura do gabinete).



Fonte: Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTES EM BANCADA

4.1.1 Taxa de coleta

4.1.1.1 Cartão SD

Foram realizados testes para determinação da máxima taxa de coleta, estando o máximo com estabilidade em 70 SPS utilizando um canal analógico de 15 bits, à medida que adicionamos canais em um mesmo ADC o tempo de conversão é o dobro mais o tempo de multiplexação de 8ms.

Inicialmente os arquivos de dados eram gerados de modo contínuo em um único arquivo, podendo corromper arquivos maiores e dificultando o trabalho devido ao grande número de dados. Como solução foi adicionada ao código uma rotina de criação de arquivos, gerando um arquivo separado para cada dia de coleta.

4.1.1.2 Comunicação Serial

A comunicação serial permite uma taxa de transferência de dados superior à de salvamento no cartão SD, A velocidade de leitura de um canal analógico de 10 *bits* pode chegar a 10kSPS, para a leitura de um canal analógico de 15*bits* a taxa máxima é de 860SPS.

A coleta de dados é feita através de um monitor serial, estando os dados dispostos em valores separados por espaços.

4.2 MÓDULO CONTADOR DE PULSOS

Foram verificados quanto a omissão de pulsos nos contadores, através de um microprocessador auxiliar foi programado o número de pulsos a serem enviados e a frequência dos pulsos, sendo a máxima frequência testada de 1kHz devido a limitações no gerador de sinal, não existindo omissão de pulsos.

4.3 MÓDULO DE SINAIS ANALÓGICOS

Para calibração dos canais analógicos foram realizadas coletas por 28 dias sem interrupções, estando o coletor de dados operando no modo canal aberto (sem sensores), e verificando a variação de bits em relação ao número de bits de referência, sendo a diferença compensada via código para obtenção da calibração de ponto zero. Após a calibração do ponto zero os canais foram submetidos a testes individuais de leitura de tensão de referência com o componente LM4040-N/-Q1 da fabricante *Texas Instruments* com tolerância de saída de tensão de 0,1%, não sendo observado em nenhum canal diferença maior do que a tolerância da referência à calibração foi mantida.

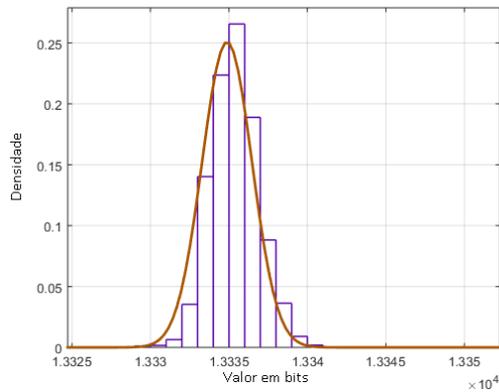
4.3.1 Controles de calibração e ruído

Avaliada através de uma função densidade dos dados, em uma distribuição normal, utilizando a menor unidade do DAC, o *bit*. Para identificação dos canais será utilizado o prefixo "A" para canal analógico seguido de o número que o identifica.

O sistema de coleta foi exposto a condições de temperatura na cabine de um trator, operando com temperaturas de 17°C (Ambiente sombrio com ar condicionado no frio) á 65°C (Ambiente com radiação solar, sem ar condicionado e cabine fechada), sendo 65°C o limite de funcionamento do display LCD, após essa temperatura o mesmo perdeu a visibilidade.

A Figura 7 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A1, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

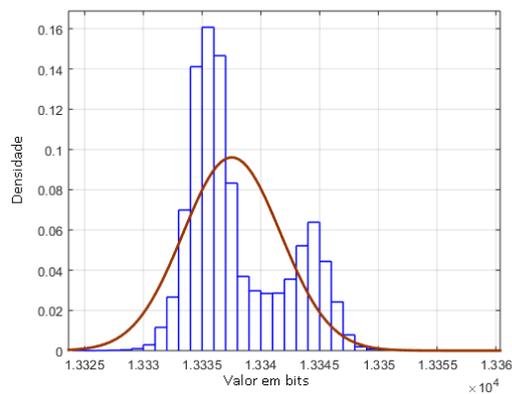
Figura 7 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A1



Fonte: Autor.

A Figura 8 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A2, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de duas distribuições normais, sendo o formato da distribuição norma característica do ruído eletrônico e o deslocamento de 9 bits da segunda curva causado pelo desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos.

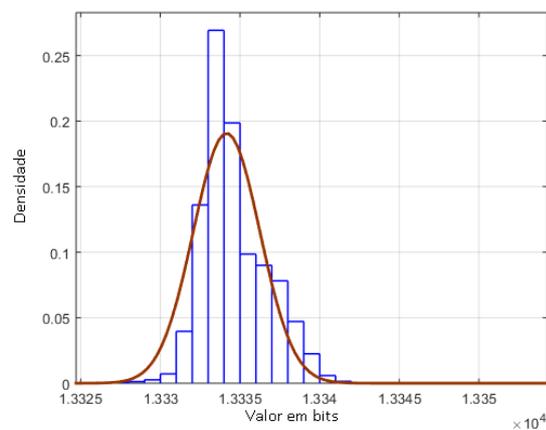
Figura 8 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A2.



Fonte: Autor.

A Figura 9 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A3, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de distribuição normal, sendo o formato da distribuição normal característica do ruído eletrônico e um leve desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos, não chegando a caracterizar uma segunda curva de distribuição pela inversão na densidade dos dados.

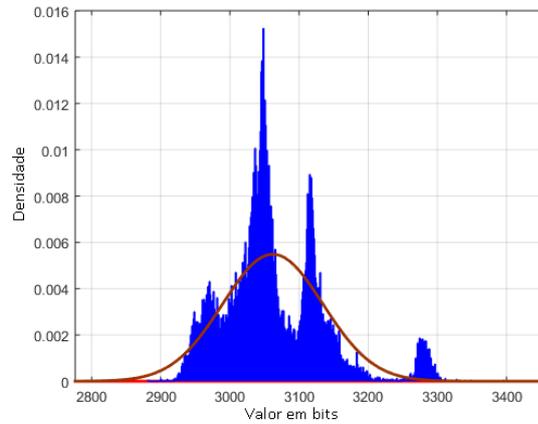
Figura 9 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A3.



Fonte: Autor.

A Figura 10 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A4, operando sem amplificador de sinal, no range de 0V a 6,144V. Os canais não amplificados possuem entradas de baixa impedância, o que os tornam mais propensos a ruídos de maior amplitude quando operados em canal aberto, porém sendo efetivo para o registro de desvios de temperatura no sinal.

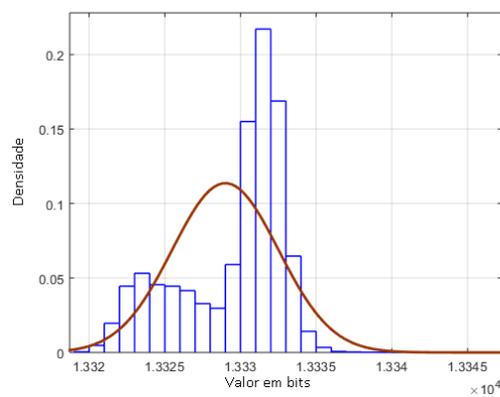
Figura 10 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A4.



Fonte: Autor.

A Figura 11 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A5, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de duas distribuições normais, sendo o formato da distribuição norma característica do ruído eletrônico e o deslocamento de 8 bits da segunda curva causado pelo desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos.

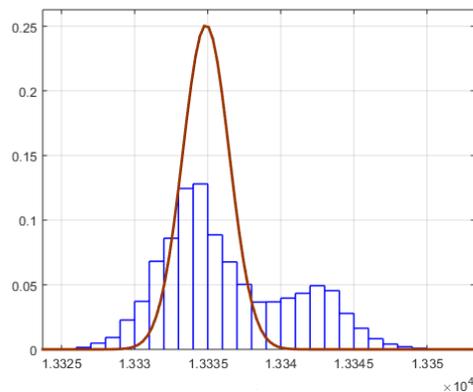
Figura 11 - - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A5.



Fonte: Autor.

A Figura 12 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A6, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de duas distribuições normais, sendo o formato da distribuição normal característica do ruído eletrônico e o deslocamento de 8 bits da segunda curva causado pelo desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos.

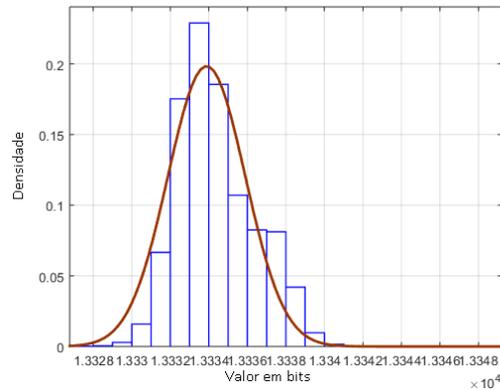
Figura 12 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A6.



Fonte: Autor.

A Figura 13 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A7, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

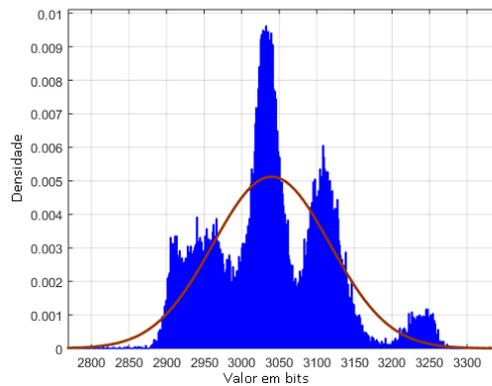
Figura 13- Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A7.



Fonte: Autor.

A Figura 14 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A8, operando sem amplificador de sinal, no range de 0V a 6,144V, possuindo características similares ao canal A4 por operar em canal aberto.

Figura 14 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A8.

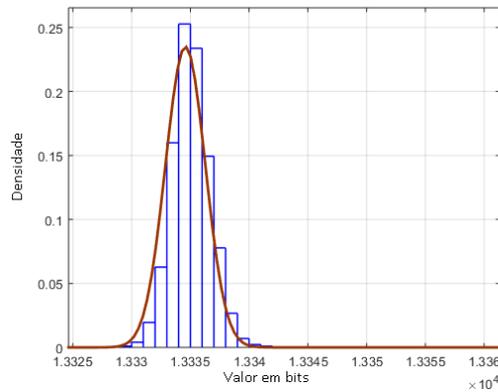


Fonte: Autor.

A

Figura 15 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A9, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

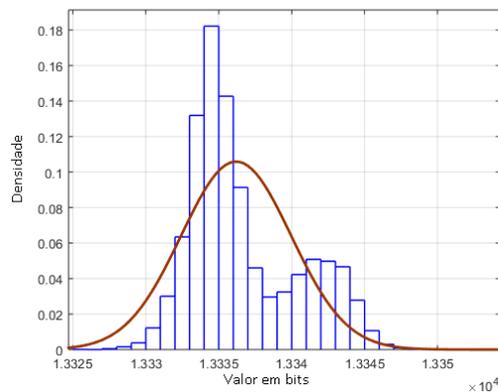
Figura 15 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A9.



Fonte: Autor.

A Figura 16 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A10, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de duas distribuições normais, sendo o formato da distribuição norma característica do ruído eletrônico e o deslocamento de 7 bits da segunda curva causado pelo desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos.

Figura 16 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A10.

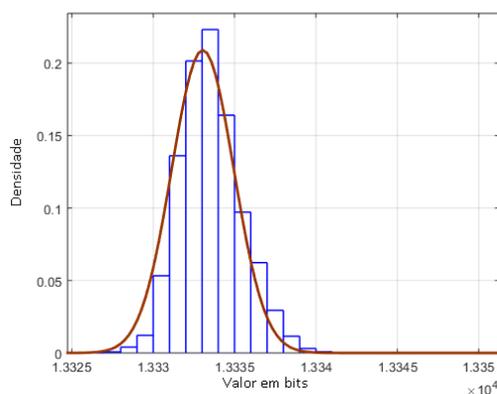


Fonte: Autor.

A Figura 17 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A11, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de

2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

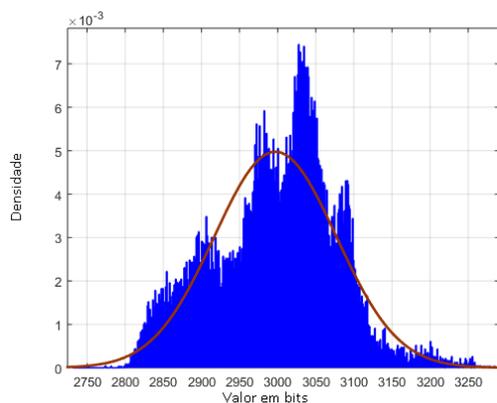
Figura 17 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A11.



Fonte: Autor.

A Figura 18 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A12, operando sem amplificador de sinal, no range de 0V a 6,144V, possuindo características similares ao canal A4 e A8 por operar em canal aberto porém com desvio negativo de temperatura.

Figura 18 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A12.

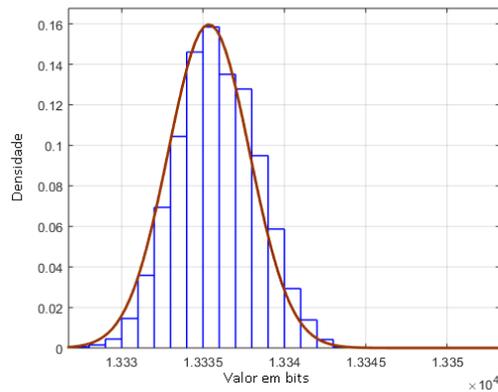


Fonte: Autor.

A Figura 19 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A13, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de

2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

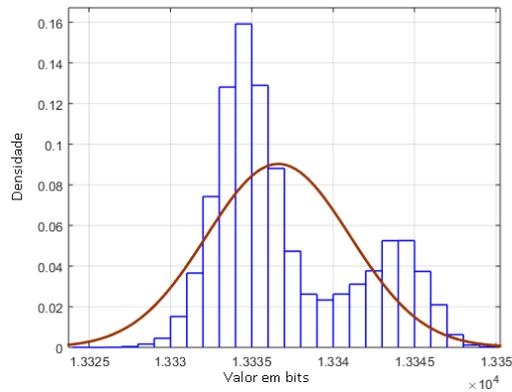
Figura 19 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A13.



Fonte: Autor.

A Figura 20Figura 16 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A14, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se que a distribuição apresenta o formato de duas distribuições normais, sendo o formato da distribuição norma característica do ruído eletrônico e o deslocamento de 9 bits da segunda curva causado pelo desvio (*drift*) de temperatura dos componentes eletrônicos.

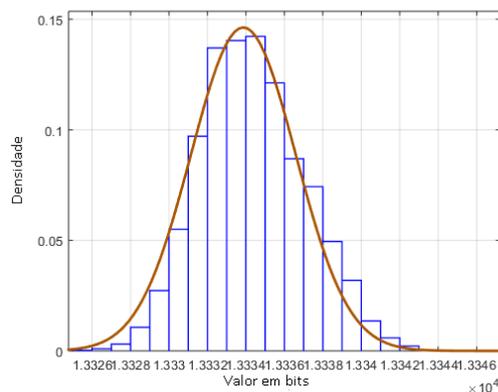
Figura 20 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A14.



Fonte: Autor.

A Figura 21 apresenta a distribuição de densidade de dados do canal A15, sendo este um canal com pré-amplificador diferencial de 100 vezes com referência de zero com offset de 2,5volts, e DAC operando no range de 0V a 6,144V. Observa-se uma distribuição muito próxima à distribuição normal, o que é característica do ruído em um sistema eletrônico.

Figura 21 - Curva de distribuição normal baseada na densidade de dados do canal A15.



Fonte: Autor.

A variação de desvio de temperatura informada pelo fabricante do DAC nas condições de 17°C à 65°C é de 0,0248% da faixa de medição, o que equivale a 8,1264 *bits*, valor coerente com o encontrado nos canais amplificados, onde o máximo desvio de curva densidade foi de 9 *bits*, em outras palavras, o projeto elaborado não agregou erros significativos ao erro base do

DAC. Quanto à variação por ruído aleatório o fabricante do DAC informa $\pm 430,06\mu\text{V}$ operando em 25°C , equivalente a $\pm 2,2936$ bits de variação, a soma da variação por desvio de temperatura mais o ruído equivalem a $10,42$ bits, ou $\pm 5,21$ bits em relação à média, lembrando que o cálculo é feito para o ruído a 25°C devido ao fabricante não informar maiores detalhes deste parâmetro em relação à temperatura.

Para melhor interpretação dos dados os parâmetros obtidos pelas curvas de densidade ajustadas sob uma distribuição normal foram dispostos no Quadro 6, como esperado os canais amplificados com melhor adequação a curva de distribuição normal possuíram melhor desempenho.

Quadro 6 - Ficha de calibração de canais analógicos operando de 17°C à 65°C

Canal	Média	Variância	μ / Desvio padrão	Σ / Desvio padrão
A1	13334,9	2,52902	13334,9 / 0,0104961	1,59029 / 0,00742209
A2	13337,5	17,2292	13337,9 / 0,0273959	4,15081 / 0,0193724
A3	13334,2	4,37378	13334,2 / 0,0138032	2,09136 / 0,00976067
A4	3061,89	5282,22	3061,89 / 0,47969	72,6789 / 0,33920
A5	13329	12,3199	13329 / 0,0231662	3,50997 / 0,0163815
A6	13334,9	2,52901	13334,9 / 0,0104961	1,59029 / 0,00742209
A7	13333,9	4,04579	13333,9 / 0,0132756	2,01141 / 0,00938756
A8	3039,7	6061,72	2029,7 / 0,523866	77,8571 / 0,36337
A9	13334,6	2,88219	13334,6 / 0,011205	1,6977 / 0,0079234
A10	13336,2	14,1915	13336,2 / 0,248637	3,76716 / 0,01931515
A11	13333	3,6468	13333 / 0,012604	1,90966 / 0,00891265
A12	2997	6427	2997 / 0,529136	80,1706 / 0,374168
A13	13335,4	6,24349	13335,4 / 0,0164917	2,4987 / 0,0116618
A14	13336,6	19,5147	13336,6 / 0,0291563	4,41754 / 0,0206173
A15	13333,9	7,43696	13333,9 / 0,0179991	2,72708 / 0,0127277

Fonte: Autor.

Os resultados da calibração apontam em geral boa distribuição sob a curva normal de distribuição de densidade, devido à alta densidade em valores entorno à média e com baixa amplitude de ruído, possuindo maior amplitude e desvio de centro em casos onde o desvio de temperatura não foi corrigido adequadamente pelo sensor, tal característica é randômica na fabricação dos componentes e para melhores resultados pode ser efetuada a troca do conversor e realizada nova verificação.

Os canais A4, A8 e A12, são canais de leitura analógica sem amplificação, sendo mais sujeitos ao ruído quando operados em canal aberto, o canal A16 não foi listado por opera como canal interno de controle de tensão da bateria.

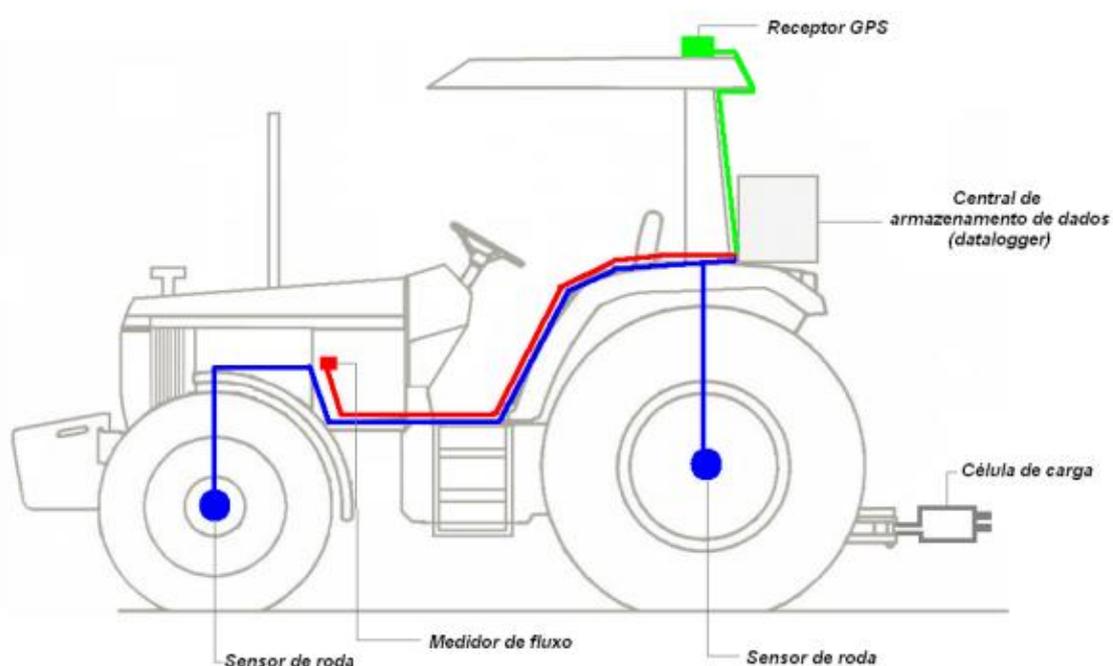
Os demais canais foram calibrados operando com amplificadores de ganho fixo de 100 vezes e faixa de tensão de 0-6,144V, obtendo variância média de 8,078528333 *bits* equivalente a 0,757362031mV. Em uma leitura de célula de carga de 2mV/V e alimentação de 5V o sinal base máximo é 10mV, mais 100 vezes de amplificação sendo 1000mV, e relação sinal ruído média de 1320,372502 vezes, ou seja, o ruído representa 0,075736203 % da faixa de medição. Em um exemplo prático para uma célula de carga de 10.000kg apresentaria um erro máximo de ruído de 15,14 kg e resolução de 1,875 kg.

4.4 TESTE DE CAMPO

4.4.1 Instrumentação

O sistema de instrumentação de medida de rotação dos rodados, consumo de combustível, medida de força de tração e antena GPS é o mesmo utilizado por RUSSINI (2009), com algumas adaptações, sendo o ponto principal a utilização de um coletor de dados de fabricação própria.

Figura 22 - Diagrama de instrumentação do trator.



Fonte: RUSSINI (2009).

4.4.1.1 *Medida de rotação dos rodados*

Obtida através de sensores indutivos presos em um suporte que mantém o sensor concêntrico à roda, mostrado na Figura 23, que mede pulsos de uma roda dentada de 32 dentes acoplada ao eixo da roda. Para obtenção da velocidade tangencial da roda necessitamos conhecer a circunferência do pneu, que é medida experimentalmente no mesmo solo de realização do experimento, de modo a não atribuir um falso índice de patinamento quando feito com medidas de catálogo ou em terreno compactado. A velocidade tangencial é dada pela equação 5.

Figura 23 - Instrumentação para medida da rotação dos rodados.



Fonte: Autor.

$$v_t = \frac{F}{32} \cdot d \quad ((5))$$

Onde:

v_t é a velocidade tangencial do pneu no ponto de contato com o solo em $m.s^{-1}$.

F é a frequência de pulsos do sensor indutivo em Hz.

d é a o deslocamento linear de uma volta do pneu medida em campo em metros.

4.4.1.2 *Consumo de combustível*

Mensurado através de fluxômetros de engrenagens ovais, sendo medido um pulso para cada volta do conjunto de engrenagens, tendo equivalência a um volume conhecido de líquido deslocado. Foram utilizados dois fluxômetros da marca Oval Corporation, modelo Oval M-III LSF 41, com resolução de 1mL por pulso. O consumo é calculado pela diferença entre o volume de alimentação de óleo diesel e o volume retornado ao tanque de combustível, conforme mostrado na equação 6.

$$C = \frac{A - R}{1000} \quad ((6))$$

Onde:

C é o consumo em litros.

A é o volume de combustível medido na alimentação em mL.

R é o volume retornado ao tanque em mL.

Para cálculo da taxa de consumo horário utilizamos a equação 7.

$$Ch = \frac{C}{\Delta t} \cdot 3600 \quad ((7))$$

Onde:

Ch é o consumo horário em $L.h^{-1}$

Δt é a duração do intervalo de medição em segundos.

4.4.1.3 Força de tração

Obtida através da leitura de uma célula de carga marca ALFA, modelo 10T, com sensibilidade de 2mV/V. Para calibração da célula de carga foi utilizada outra célula de carga aferida sendo feita a leitura do número de bits do coletor de dados para a carga zero, e para uma carga conhecida.

A força na barra de tração é obtida através da equação 8.

$$F_t = (n - n_0) \cdot \left(\frac{c_{ref}}{n_{ref}} \right) \quad ((8))$$

Onde:

F_t é a força na barra de tração em kgf.

n é a leitura do número de bits do coletor de dados em bits.

n_0 é a leitura do número de bits para a carga zero.

c_{ref} é a carga de referência utilizada para calibração em kgf.

n_{ref} é a leitura do número de bits para a carga de referência em bits.

4.4.1.4 Velocidade em relação ao solo

As coletas dos dados de velocidade em relação ao solo foram coletadas através de uma antena de GPS da marca Trimble, modelo Agps110, sendo ele configurada para enviar as sentenças \$GPVTG e \$GPGGA no padrão NMEA (*National Marine Electronics Association*). A sentença \$GPVTG refere-se direção do movimento e a velocidade em relação ao solo, enquanto a sentença \$GPGGA fornece a hora no meridiano zero, latitude e longitude, número de satélites, diluição horizontal, e altitude.

4.5 DADOS DE CAMPO

Depois de realizadas as calibrações o coletor de dados foi submetido a campo, coletando todas as informações para qual foi desenvolvido. Para melhor disposição dos dados os mesmos serão separados em colunas e os canais identificados por suas abreviações, sendo mostrados cinco segundos de coleta.

A nomenclatura dos canais de pulso é dada pela letra "P" seguido do número que identifica o canal de pulso e o valor da coluna representa a contagem dos pulsos, em canais analógicos é dada pela letra "A" seguido do número que identifica o canal analógico e o valor da coluna o valor em *bits*.

Quadro 7 - Dados canais de pulso.

Data	Hora local	Amostra	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
04/02/2019	17:42:40	2741	29139	30888	40152	39730	49264	120388	10255	86951
04/02/2019	17:42:41	2742	29139	30888	40152	39730	49278	120388	10255	86951
04/02/2019	17:42:42	2743	29139	30888	40152	39730	49291	120388	10255	86951
04/02/2019	17:42:43	2744	29139	30888	40152	39730	49304	120388	10255	86951
04/02/2019	17:42:44	2745	29139	30888	40152	39730	49316	120388	10255	86951

Fonte: Autor

Quadro 8 - Dados canais analógicos A1-A8.

Data	Hora Local	Amostra	A1(bits)	A2(bits)	A3(bits)	A4(bits)	A5(bits)	A6(bits)	A7(bits)	A8(bits)
04/02/2019	17:42:40	2741	13337	13320	10688	26480	13285	13312	13280	3063
04/02/2019	17:42:41	2742	13337	13321	10691	26445	13287	13312	13281	3101
04/02/2019	17:42:42	2743	13337	13319	10688	26479	13283	13311	13279	3068
04/02/2019	17:42:43	2744	13336	13319	10692	26446	13284	13312	13279	3080
04/02/2019	17:42:44	2745	13337	13321	10687	26480	13284	13313	13279	3095

Fonte: Autor

Quadro 9 - Dados canais analógicos A9-A16

Data	Hora local	Amostra	A9(bits)	A10(bits)	A11(bits)	A12(bits)	A13(bits)	A14(bits)	A15(bits)	A16(bits)
04/02/2019	17:42:40	2741	13329	13316	3075	3045	13331	13314	13287	3070
04/02/2019	17:42:41	2742	13329	13317	3056	3047	13334	13317	13286	3077
04/02/2019	17:42:42	2743	13329	13317	3062	3054	13334	13314	13289	3012
04/02/2019	17:42:43	2744	13330	13317	3071	3046	13334	13314	13288	3058
04/02/2019	17:42:44	2745	13328	13316	3062	3038	13332	13314	13288	3100

Fonte: Autor

Quadro 10 - Dados GPS sentença \$GPVTG.

Data	Hora local	Amostra	Sentença \$GPVTG							
04/02/2019	17:42:40	2741	\$GPVTG	0	T	0	N	0	K	A*40
04/02/2019	17:42:41	2742	\$GPVTG	0	T	0	N	0	K	A*40
04/02/2019	17:42:42	2743	\$GPVTG	0	T	0	N	0	K	A*40
04/02/2019	17:42:43	2744	\$GPVTG	0	T	0	N	0	K	A*40
04/02/2019	17:42:44	2745	\$GPVTG	0	T	0	N	0	K	A*40

Fonte: Autor

Quadro 11 - Dados GPS sentença \$GPGGA

Sentença \$GPGGA													
Formato	Hora UTC	Latitude		Longitude			Satélites	HDOP	Altitude				
\$GPGGA	194315	2.943.365.815	S	5.343.130.834	W	1	5	2,6	128,78	M	7,73	M	*52
\$GPGGA	194316	2.943.365.783	S	5.343.130.857	W	1	5	2,6	128,66	M	7,73	M	*5B
\$GPGGA	194317	2.943.365.421	S	5.343.131.160	W	1	6	1,5	127,4	M	7,73	M	*55
\$GPGGA	194318	2.943.365.079	S	5.343.131.449	W	1	6	1,5	126,23	M	7,73	M	*59
\$GPGGA	194319	2.943.365.050	S	5.343.131.472	W	1	6	2,1	126,12	M	7,73	M	*5E

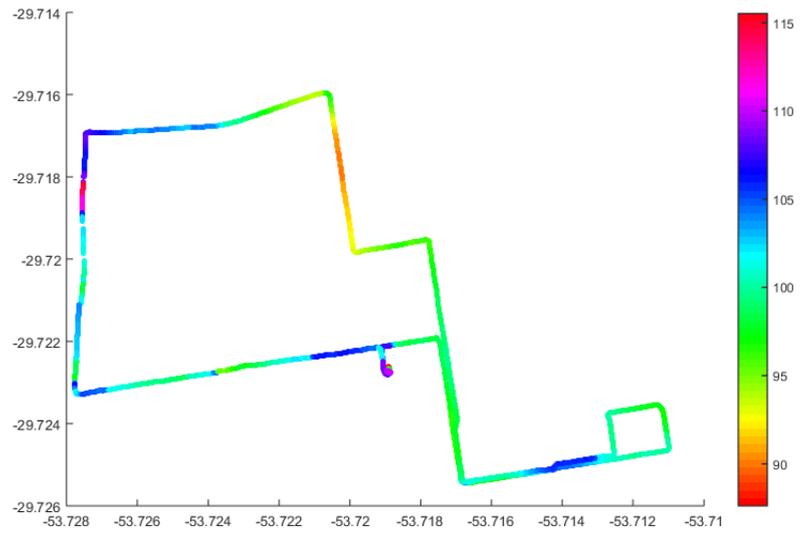
Fonte: Autor

4.5.1 Disposição de dados em gráficos

Devido à sentença \$GPGGA conter latitude e longitude, podemos utilizar gráficos de 3 ou 4 dimensões para uma melhor leitura visual dos experimentos, bem como, verificar pontos com anomalias no experimento. Como exemplo, a Figura 24 mostra um mapa altímetro realizado com o equipamento instalado em um trator, e a

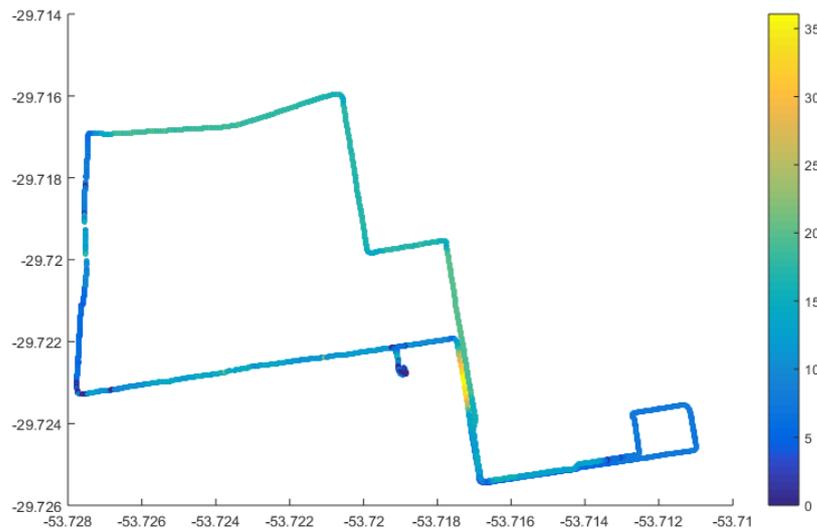
Figura 25 o mapa de velocidade do trator.

Figura 24 - Mapa de 3 dimensões, latitude, longitude e altitude.



Fonte: Autor.

Figura 25 - Mapa de 3 dimensões, latitude, longitude e velocidade do veículo.



Fonte: Autor.

4.5.2 Dados de campo em parcelas.

Para melhor controle testes de campo são em geral feito por método de parcelas, que podem possuir comprimento de trabalho variável, para esses testes o comprimento de parcela utilizado foi de 50 metros. No ponto inicial e final dos 50 metros ficam as balizas de posição, e através de um cronômetro são obtidos os tempos de parcela e calculada a velocidade média da parcela, tal velocidade média é importante para experimentos em que a velocidade seja inferior a 4km/h, visto que nesta faixa o GPS pode criar vazios de informações de velocidade.

4.6 COMPARAÇÃO COM COLETORES DE DADOS COMERCIALIZADOS.

4.6.1 Taxa de amostragem

A taxa de amostragem obtida neste trabalho com utilização de todas canais manteve-se em 1SPS, sendo o fator limitante a taxa de atualização do GPS, já RUSSINI (2009) obteve a taxa de 0,5SPS utilizando de um *datalogger* da marca Campbell Scientific modelo CR1000, utilizando de dois canais de pulso, quatro de pulsação média, e um de leitura de célula de carga, tal diferença se dá principalmente pela baixa velocidade de processamento do CR1000 e ao tempo dedicado exclusivamente para cada leitura de pulsação média.

GONZÁLES et. al. (2018) atingiram a taxa de coleta de próxima a 80SPS quando utilizando salvamento em cartão SD, taxa similar à encontrada neste trabalho devido a utilização de módulos de salvamento similares.

MOITZI et al.(2013) utilizaram de um *datalogger* Squirrel Data Logger 2020 operando com 1SPS, em um sistema simples composto por leitura de pulsos e célula de carga, o *datalogger* opera com único processador o que pode ser fator limitante na taxa de coleta.

4.6.2 Contadores de pulso

O *datalogger* utilizado por RUSSINI (2009) possui duas entradas de interrupção para contagem de pulsos, utilizada para medição de consumo de combustível de dois fluxômetros, sendo um para alimentação e outro para o retorno do motor, sendo estes sensores ligados em portas de interrupção o mesmo não deve possuir omissão de pulsos a menos que a velocidade de pulsos extrapole a velocidade de execução do incrementador do registro de pulso. Já os

canais utilizados para medir a velocidade dos rodados fazem a leitura de pulsos em uma janela de tempo, onde o mesmo dedicou 400 ms para cada um dos 4 canais, totalizando um tempo mínimo de 1,6s. o sistema de coleta também pode omitir variações nos sensores quando fora da janela de medição, e limitando velocidades mínimas que gerem 1 pulso a cada 400ms. Como exemplo um rodado traseiro com pneu 23.1-30 possui cerca de 5,1m de circunferência de rolamento, o que limitaria com a instrumentação de RUSSINI (2009) a medição de velocidade dos rodados em 1,43km/h no melhor caso.

O sistema contador de pulso utilizado nesse projeto possui um microcontrolador para cada canal, sendo medido no sistema de interrupção, e enviando o número de pulsos no intervalo de interrupções, fazendo possível ter zero omissão em testes realizados até 100kHz.

4.6.3 Leitura analógica.

Como mostrado no Quadro 12 o coletor de dados projetado mesmo submetido a variações de temperatura permanece com baixo ruído, e possui resolução superior aos outros coletor de dados, devido a possuir 15 *bits* de resolução com amplificadores em cascata.

No quesito range máximo de leitura ele é superado pelo Squirrel Data Logger 2020, porem tal range pode ser adequado utilizando divisores resistivos de precisão ou amplificadores operacionais.

O número de canais entre os coletores de dados é igual em canais analógicos simples e nos canais diferenciais, sendo um canal diferencial composto por dois canais simples. O diferencial do projeto do coletor de dados está em possuir um amplificador diferencial lido por uma saída analógica simples com *offset* de tensão o que permite economizar canais para sensores amplificados.

4.6.4 Display e status

O Baitalogger possui um *display* de 4 linhas por 20 caracteres, sendo totalmente customizável via código, podendo apresentar informações diretas do canal, ou canais calculados a partir destes. Está ligado remotamente, permitindo o display estar distante do coletor de dados, enquanto o Squirrel Data Logger 2020 possui um visor integrado de 2 linhas por 20 caracteres e o modelo CR1000 não possui um visor integrado a ele.

O display também informa o status do coletor de dados quando em gravação, ou falhas de gravação, o acompanhamento do coletor de dados também pode ser feito através de um LED indicador que pisca uma vez para cada gravação efetuada, o que não é presente modelo CR1000.

4.6.5 Código aberto

Em geral os coletores de dados possuem código fechado e com limitações para utilização de seus próprios sensores, ou sensores genéricos, porém não possuem a possibilidade de modificar o código base ou mesmo a facilidade de integrar sistemas devido a comandos limitados, o Baitallogger proporciona a modificação de seu código através da IDE Arduino, que pode ser baixada gratuitamente, e feitas modificações no código e carregar para o sistema do Baitallogger. Para usuários menos avançados ele pode ser utilizado sem alterações no código, visto que pode ser calibrado em etapa de coleta de dados e feitas as curvas de calibração através dos mesmos e após calculados em planilhas eletrônicas.

Para simplificar a comparação do Baitallogger com os modelos comerciais escolhidos, as principais especificações dos mesmos foram dispostas no Quadro 12.

Quadro 12 - Comparativo do coletor de dados projetado e utilizado por autores.

Autor	Lucas Simon da Rosa (Autor, 2019)	MOITZI et al.(2013)	HASIMO & CHEN (2014)
Marca/Modelo	Baitalogger	Squirrel Data Logger 2020	Campbell Scientific CR1000
Fonte de energia interna/externa	6,5V-32V	6 pilhas AA/ 10- 18V DC	12V DC
Memória interna	4 GB	128 MB	4 MB
Canais Simples	16	16	16
Analógicos diferenciais	16	8	8
DAC	5	2	1
Canais de pulso	8@ 1kHz	2@ 64kHz 2@ 100Hz	2@ 250kHz
Entradas digitais	8	8	16
Alta tensão	-	2 máx 60V	-
Canais internos	Bateria	Temperatura	Bateria e temperatura
Display linhas/colunas	4/20	2/20	-
Leitura RS232	1,expansivo até 4	-	5
Máx. <i>range</i>	$\pm 6,144V$	-6V à 25V	$\pm 5V$
Mín. <i>range</i>	$\pm 2,56mV$	$\pm 75mV$	$\pm 2,5mV$
Mín. Resolução	156,25 μV	-	670 μV
Ruído declarado máximo	3750 μV @17°C-65°C	6000 – 25000 μV	4002 μV

Fonte: Autor.

4.6.6 Custo de produção

O custo de produção a ser avaliado será somente dos componentes eletrônicos envolvidos, visto da dificuldade de mensurar valor em programação de software, ressaltando que se trata de um protótipo e as peças pedidas em poucas unidades representam um custo mais alto que quando colocado em produção. Cabe também salientar que o custo do gabinete do coletor de dados é referente ao gabinete protótipo, a versão final contará com um gabinete de maior resistência mecânica e térmica. O Quadro 13 mostra o custo por unidade de cada tipo de módulo presente no coletor de dados.

Quadro 13 - Detalhamento de custos do Baitallogger.

Módulo	Contador de Pulso(R\$)	Analógico (R\$)	Comunicação (R\$)	Registro de dados (R\$)
Placas	4	4	4	4
Circuitos Integrados	99,5	0	0	80
Resistores	1,17	0	0	0,6
LED	8	0	0	0,2
Amplificadores	0	91	0	0
Cabos	6	8	2	4
Conectores	36	36	36	36
Reguladores	0	0	0	30
Invólucro	0	0	0	85
Frete	31,93	28,6	10,8	48,27
Total por Módulo (R\$)	186,6	167,6	52,8	288,07
Número de módulos	2	1	1	1
Subtotal (R\$)	373,2	167,6	52,8	288,07
Total (R\$)	881,67			

Fonte: Autor

O custo de produção mesmo na fase de protótipo ficou em R\$: 881,67 (1 US\$=R\$ 4,16. 14/01/20), permitindo agregar mais funcionalidades e proteção ao Baitallogger sem perder a premissa de baixo custo e qualidade.

5. CONCLUSÕES

A utilização do Baitallogger possibilitou mensurar o desempenho da máquina agrícola em avaliação através de sensores correspondentes às variáveis de operação e uma taxa de coleta de dados compatível com os eventos, evitando perda de dados por baixa taxa de amostragem.

Obteve-se dados em linha de tempo de sensores de pulso, sensores de tensão, células de carga, radares de velocidade, receptor GPS.

Realizou-se a conversão de sinais analógicos com baixo ruído e alta resolução.

O Baitallogger dispôs parâmetros de funcionamento das máquinas em teste de forma clara e em arquivo de formato texto separado por espaços para fácil importação em programas de planilhas, com capacidade de armazenamento continua de mais de 6 meses operando com taxa de uma amostra por segundo.

Através dos requisitos levantados na pesquisa de trabalhos científicos foi observada a necessidade de um coletor de dados que atenda de forma acessível às necessidades dos pesquisadores, o projeto foi elaborado de modo a atender o máximo tais requisitos, os quais foram comprovados através de testes em bancada e testes de campo.

Os resultados obtidos pelo Baitallogger superaram em muitos quesitos as configurações dos coletores de dados comerciais utilizados frequentemente pelos pesquisadores, tal vantagem deve-se a estrutura utilizada no projeto do mesmo, o que leva ao interesse da proteção da propriedade intelectual deste projeto.

A qualidade dos dados e simplicidade da disposição dos dados em formato de texto aberto proporciona liberdade para o pesquisador trabalhar seus dados da maneira que lhe convém, sendo a qualidade de dados o fator primordial para uma pesquisa de responsabilidade e acurácia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTIATO; DISERENS. Tractor traction performance simulation on differently textured soils and validation: A basic study to make traction and energy requirements accessible to the practice. **Soil and Tillage Research**, v. 166, p. 18-32, 2017.
- BOLDAJI et. al. Predicting the relative density from on-the-go horizontal penetrometer measurements at some arable top soils in Northern Switzerland. **Soil and Tillage Research**, v. 159, p. 23-32, 2016.
- BORIBOONSOMSIN et. al. Real-world exhaust temperature profiles of on-road heavy-duty diesel vehicles equipped with selective catalytic reduction. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 909-921, 2018.
- CASTRO et. al. A low-cost modular data-acquisition system for monitoring biometeorological variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 141, p. 357-371, 2017.
- FUENTES et. al. Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino™ that complies with IEC standards. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 130, p. 529-543, 2014.
- GILANDEH; AJDADI. Design, construction and field evaluation of a multiple blade soil mechanical resistance sensor. **Soil and Tillage Research**, v. 157, p. 93-100, 2016
- GONZÁLES et. al. A Low-Cost Data Acquisition System for Automobile Dynamics Applications. **Sensors**, v. 366,18-2018.
- HASIMO; SHEN. Soil disturbance and draft force of selected seed openers. **Soil and Tillage Research**, v. 140, p. 48-54, 2014.
- KORTENBRUCKET et. al. Machine operation profiles generated from ISO 11783 communication data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 140, p. 227-236, 2017.
- KUMAR et. al. Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 38-49, 2016.
- LOVARELLI et. al. Fuel consumption and exhaust emissions during on-field tractor activity: A possible improving strategy for the environmental load of agricultural mechanization. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 238-248, 2018.
- LOZOYA et. al.. Service Oriented Design Approach for a Precision Agriculture Datalogger. **IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS**, v. 14, n. 4, p. 1683-1688, 2016.
- MOITZI et. al. Energy, consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 56-60, 2013.

OSROOSH et. al. Economical thermal-RGB imaging system for monitoring agricultural crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, p. 34-43, 2018.

PARAFOROS et. al. Multi-level automation of farm management information systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142B, p. 504-514, 2017.

PASQUALI et. al. A new data logger based on Raspberry-Pi for Arctic Notostraca locomotion investigations. **Measurement**, v. 110, p. 249-256, 2017.

PEROZZI et. al. Methodology to analyse farm tractor idling time. **Biosystems Engineering**, v. 148, p 81-89, 2016.

PARK; MACKAY. **Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems**. Newnes, Oxford, 2003, 407 p..

PITLA et. al. In-field fuel use and load states of agricultural field machinery. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 121, p. 290-300, 2016.

RASOOL; RAHEMAN. Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks. **Biosystems Engineering**, v. 167, p 51-62, 2018

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação de tratores agrícolas**. 142p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

STARLING, Antônio N. **Controle e automação I: introdução à instrumentação industrial**. Belo Horizonte, 102 p., 2003.

TATSIS et. al. A prototype data acquisition and processing system for Schumann resonance measurements. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 135, p. 152-160, 2015.