



DELORME CORRÊA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA
EMBARCADO PARA MONITORAMENTO DE OPERAÇÕES
AGRÍCOLAS COM TRATORES**

LAVRAS - MG

2017

DELORME CORRÊA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA
MONITORAMENTO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS COM TRATORES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

Prof. Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa
Coorientador

LAVRAS - MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Corrêa Júnior, Delorme.

Desenvolvimento e validação de um sistema embarcado para monitoramento de operações agrícolas com tratores / Delorme Corrêa Júnior. - 2017.

87 p. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Coorientador: Bruno Henrique Groenner Barbosa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Aquisição de dados. 2. Placa Arduino. 3. Consumo de combustível. I. Volpato, Carlos Eduardo Silva. II. Barbosa, Bruno Henrique Groenner. III. Título.

DELORME CORRÊA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA
MONITORAMENTO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS COM TRATORES**

***DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN EMBEDDED SYSTEM FOR
MONITORING AGRICULTURAL OPERATIONS WITH TRACTOR***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 26 de abril de 2017.

Prof. Dr. Bruno Henrique Groenner Barbosa	UFLA
Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz	UFLA
Prof. Dr. Ronald Leite Barbosa	IFMG
Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade	UFLA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

LAVRAS - MG

2017

A Deus, por dar-me vida, saúde, forças e um dia de cada vez.

Aos meus pais Delorme e Mara, que me educaram, deram-me condições de estudar, incentivaram-me e estiveram sempre ao meu lado, em todos os momentos de minha vida.

OFEREÇO E DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade concedida de realização do doutorado.

Aos meus amigos, em especial, Juliana Lima, Mauro, Luiza, Lucas Ferreira, João Barreto, Renan Lima, Vanessa Figueiredo, Alexandre “Xandão”, Marlon, Wellington Vale, Pablo Klaver, Ricardo Garcia, Osmar, Felipe Lorenzoni, Kamila, Murilo Machado, Luiz de Gonzaga.

Aos funcionários do Galpão de máquinas e do Departamento de Engenharia da UFLA, em especial Sebastião, Pedro, Waldecir, Silas, Everton “Neném”, Alexandre, Maurício Pereira, Bruno, Olavo, Éder, Hellem, Gilson e aos técnicos do Departamento de Ciência da Computação no Laboratório de Eletrônica, Luciano e Adalberto.

Aos meus parceiros, amigos da República do Rei André que me acolheram durante o tempo que mais precisei, Alexandre “Xandão”, Daniel “Vadia”, André “Japão”, Alisson.

Ao meu orientador Carlos Volpato pela confiança e parceria, pelo apoio e ensinamentos e ao meu coorientador Bruno Groenner pela atenção, orientação e ensinamentos.

Aos professores do departamento, em especial, Jackson, Nilson, Giovanni, Sylvia, Dimitri, Antonio Donizette, Wellington pela atenção e ensinamentos e a todos os professores do Departamento de Engenharia que tive o prazer de conhecer e cursar suas disciplinas do programa.

Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida

Aos parceiros do setor G-Óleo, em especial, ao Vinicius “Pigarro”, Rodrigo, e ao professor Pedro Castro Neto pela ajuda, companheirismo e por ceder o espaço para confecção de peças.

Ao Diego “Louro”, Diego Henrique, Fábio Oliveira, Carlos Renato, Mauricio Pereira, Silas que me ajudaram, me orientaram a conduzir os trabalhos e pela nossa parceria e amizade.

À minha parceira e companheira Juliana Lima pela amizade, compreensão, incentivo e força.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu concluísse os trabalhos.

Minha eterna gratidão!

“O Bambu chinês”:

Depois de plantada a semente do bambu chinês, não se vê nada por aproximadamente 5 anos – exceto um diminuto broto. Todo o crescimento é subterrâneo; uma complexa estrutura de raiz, que se estende vertical e horizontalmente pela terra, está sendo construída. Então, ao final do 5º ano, o bambu chinês cresce até atingir a altura de 25 metros.

Situações que ocorrem na vida pessoal e profissional são semelhantes à história do bambu chinês. Você trabalha, investe tempo, esforço, faz tudo o que pode para nutrir seu crescimento e, às vezes, não vê nada por semanas, meses ou anos. Mas, se tiver paciência para continuar trabalhando, persistindo e nutrindo, o seu 5º ano chegará; com ele virão mudanças que você jamais esperava.

Lembre-se que é preciso muita ousadia para chegar às alturas e, ao mesmo tempo, muita profundidade para agarrar-se ao chão.

“Paulo Coelho”

“Não há que ser forte.

Há que ser flexível.”

Provérbio chinês

RESUMO

A utilização de sistemas embarcados na aquisição de dados para a avaliação operacional de máquina agrícola tem como objetivo informar ao operador valores de variáveis de desempenho operacional que estão sendo medidos em tempo real, de forma que auxilie o operador a tomar decisões, corrigir possíveis erros e falhas operacionais. Objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver e utilizar sistema de aquisição automática de dados baseando-se na placa eletrônica Arduino para obtenção de valores de patinação dos rodados e consumo horário de combustível. O sistema comunicou-se via bluetooth com aparelho portátil (tablet) e armazenou os dados em cartão de memória. Para validação do sistema, foi realizado ensaio de operação de tração em que um trator marca Valtra modelo A950 arrastou outro da marca Agrale modelo BX6110 variando-se marchas de frenagem no trator Agrale (4A, 2A, 4B e 3M) e em dois sistemas de preparo do solo (convencional e plantio direto). Seguiu-se o delineamento de blocos ao acaso com 4 marchas, 2 sistemas de preparo do solo, em 3 blocos e com 3 repetições, e as médias obtidas foram analisadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. O sistema de aquisição teve seu objetivo concluído, e permitiu a obtenção dos dados em tempo real e armazenamento dos dados em cartão de memória. As marchas influenciaram significativamente na patinação dos rodados, em que os maiores valores ocorreram nas marchas 4B e 3M (8,94% e 11,19%, respectivamente), enquanto o maior valor do consumo de combustível ($7,84 \text{ L.h}^{-1}$) ocorreu no sistema convencional.

Palavras-chave: Aquisição de dados. Placa Arduino. Consumo de combustível. Patinação.

ABSTRACT

The use of embedded systems in data acquisition for the operational assessment of agricultural machinery has the objective of informing the operator values of the operational performance variables that are measured in real time, in a manner that allows the operator to make decisions and correct possible errors and operational flaws. In this work, the objective was to develop and use an automatic data acquisition system based on Arduino circuit board for obtaining values for wheel sliding and hourly fuel consumption. The system communicated with the portable device (tablet) by means of Bluetooth, and stored data in memory card. For the system validation, a traction operation trial was conducted, having a A950 Valtra tractor dragged a BX6110 Agrale tractor, varying the breaking gears of the Agrale tractor (4A, 2A, 4B and 3M) and considering two soil preparation systems (conventional and direct planting). Further, a randomized blocks design with 4 gears, 2 soil preparation systems, was used, with 3 blocks and 3 replicates. The means were analyzed by the Tukey test at 5% of probability. The acquisition system had the objective concluded and allowed the obtaining of real time data, as well as the storage of the data in the memory card. The gears greatly influenced wheel sliding. The highest values occurred with gears 4B and 3M (8.94% and 11.19%, respectively), while the highest fuel consumption value (7.84 L.^h-1) occurred in the conventional system.

Keywords: Data acquisition. Arduino board. Fuel consumption. Sliding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de engrenagens de fluxômetro de combustível.....	32
Figura 2 - Visão geral do sistema de aquisição de dados.....	36
Figura 3 - Placa eletrônica Arduino modelo Mega.....	37
Figura 4 - Adaptador de cartão de memória micro SD.....	37
Figura 5 - Conexão Cartão de memória nas portas digitais e de alimentação do Arduino.	38
Figura 6 - Módulo Bluetooth para comunicação com Arduino.....	39
Figura 7 - Conexão Módulo Bluetooth nas portas digitais e de alimentação do Arduino.	40
Figura 8 - Esquemático de ligações utilizado como ferramenta para confecção da placa de circuito impressa.	42
Figura 9 - Projeto de Layout de placa de circuito a ser fresada.	43
Figura 10 - Placa de circuito impresso confeccionada.....	44
Figura 11 - <i>Encoders</i> ópticos utilizados nas determinações da patinagem.	45
Figura 12 - Fluxômetro de combustível utilizado para medição do consumo de combustível.	45
Figura 13 - Ambiente de programação do aplicativo da placa eletrônica Arduino, e serial monitor.....	46
Figura 14 - Bancada de ensaio para testes com placa de controle Arduino e <i>encoders</i>	49
Figura 15 - Bancada de ensaio para testes com placa de controle Arduino e sensores de vazão de líquidos simulando funcionamento dos fluxômetro.....	51
Figura 16 - Fotografia tirada por meio do google Earth da área marcada com auxílio de receptor GPS marca Garmin.....	52
Figura 17 - Direita - Trator da marca Valtra utilizado para tração. Esquerda - trator “freio” da marca Agrale sendo arrastado.	53
Figura 18 - Sistema de preparo convencional do solo.	54
Figura 19 - Sistema de plantio direto.....	55
Figura 20 - Instalação dos <i>encoders</i> nos rodados do trator.....	56
Figura 21 - Fluxômetro de combustível utilizado em motor de trator para medição de consumo de óleo diesel instalado no motor do trator.....	57
Figura 22 - Esquema de instalação de fluxômetro de combustível em motor de trator agrícola.....	58

Figura 23 - Tela de aplicativo sendo executado em <i>tablet</i> para monitoramento das informações	60
Figura 24 - Vista Superior do painel eletrônico.	62
Figura 25 - Vista Interior do painel eletrônico.	62
Figura 26 - Vista Lateral do painel eletrônico.....	63
Figura 27 - Vista Lateral Frontal do Painel Eletrônico.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Funcionamento dos <i>encoders</i> na obtenção de interrupções e pulsos coletados.....	64
Gráfico 2 - Gráfico com os valores dos testes com os <i>encoders</i> para estimativa de patinagem.	65
Gráfico 3 - Resultado de volume de líquido por unidade de tempo registrado por sensor e confirmado em proveta.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações dos tratores agrícolas utilizados nos ensaios.	53
Quadro 2 - Marchas utilizadas como tratamentos impostas ao trator de frenagem e suas respectivas velocidades teóricas e sistemas de preparo de solo analisados.	54
Quadro 3 - Descrição dos métodos utilizados para determinação da patinagem dos rodados motrizes do trator e na comparação dos valores obtidos.	55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultados da análise de variância pelo teste F para os valores da patinação dos rodados motrizes do trator sendo influenciados pelos tratamentos com o sistema de plantio direto e sistema de preparo convencional do solo. 67
- Tabela 2 - Resultado de patinação dos rodados pelo teste Tukey para o tratamento sistema de preparo do solo influenciando na patinação dos rodados. 67
- Tabela 3 - Resultado das médias obtidas do parâmetro patinação dos rodados do trator na interação entre os métodos avaliados nas marchas impostas no trator freio. ... 68
- Tabela 4 - Resultados de patinação dos rodados e consumo de combustível no sistema de plantio direto e sistema de preparo convencional do solo 70
- Tabela 5 - Resultados de patinação dos rodados e consumo de combustível sendo influenciados pelas marchas utilizadas no trator de frenagem. 71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos.....	18
1.2	Objetivos específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Ensaio de desempenho de tratores e máquinas agrícolas.....	22
2.1.1	Patinagem dos rodados	23
2.1.2	Consumo de combustível	24
2.2	Sistemas Embarcados	26
2.2.1	Sistemas embarcados na agricultura de precisão	27
2.3	A placa eletrônica Arduino.....	29
2.4	Sensores e transdutores.....	30
2.4.1	Sensores de posição ou deslocamento	31
2.4.2	Sensores de vazão	32
2.5	Transmissão Bluetooth	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	Desenvolvimento do SISAADPC	34
3.1.1	Diagrama de blocos	34
3.1.1.1	Sistema Embarcado	34
3.1.1.2	Módulo Coletor	35
3.1.2	Visão Geral do Sistema	35
3.1.3	Placa eletrônica Arduino	36
3.1.4	Cartão de memória MicroSD	37
3.1.5	Módulo Bluetooth.....	39
3.1.6	Placa de circuito impresso	41
3.1.7	Sensores utilizados	44
3.1.7.1	Sensores de deslocamento (encoders)	44
3.1.7.2	Fluxômetro de combustível.....	45
3.1.8	Desenvolvimento do <i>software</i> e comunicação de dados.....	45
3.1.9	Parâmetros de desempenho operacional avaliados.....	47
3.1.9.1	Determinação da patinagem dos rodados do trator	48
3.1.9.2	Determinação do consumo volumétrico de combustível.....	48
3.2	Calibração	49
3.2.1	Bancada de ensaio para os <i>encoders</i>	49
3.2.2	Bancada de ensaio para o fluxômetro de combustível	51
3.3	Validação de campo	52
3.3.1	Instalação dos sensores	56
3.3.1.1	Encoders	56
3.3.1.1.1	Fluxômetro de combustível.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	Resultados do Desenvolvimento do Sistema.....	60
4.2	Resultados da calibração	63
4.3	Validação de campo	66
5	CONCLUSÕES.....	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	ANEXO A - CÓDIGO FONTE DO SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DA PATINAGEM E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	80

ANEXO B - CÓDIGO FONTE PARA DE UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS ANDROID POR MEIO DE COMUNICAÇÃO BLUETOOTH NO ACOMPANHAMENTO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS	85
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio está inserido em um ambiente de grande competitividade e de constantes mudanças. Isso exige cada vez mais que o produtor rural tome iniciativas como o investimento em novos produtos, tecnologias e processos.

O monitoramento das operações para obtenção de informações de desempenho está centrado no processo de tomada de decisão. Em vista disso, o produtor tem buscado tecnologias e mecanismos para redução de custos, aumento de produtividade e minimização do impacto ambiental de suas atividades, de forma a atender aos objetivos e metas dos produtores que necessitam de uma grande quantidade de informações com base em dados consistentes, reais, precisos e imediatos.

O desenvolvimento da indústria de sistemas embarcados e automação, com a utilização de sensores, transdutores e microcontroladores, tem muita importância para a área de máquinas agrícolas e tem ganhado seu espaço à medida que vem contribuindo na mecanização da agricultura com o desenvolvimento de equipamentos cada vez menores, práticos e robustos, permitindo sua aplicação em diversas áreas agrícolas.

As informações obtidas por meio de sensores, por exemplo, precisam sofrer processamentos para se transformarem em informações úteis, e é nesse contexto que a aquisição automática de dados de parâmetros de desempenho como patinagem e consumo de combustível contribui de maneira importante com pesquisadores e produtores.

Os métodos utilizados na determinação de parâmetros como patinagens muitas vezes são aplicados manualmente, contando-se o número de voltas nos rodados ou marcando-se o tempo de início e de chegada para o trator percorrer a parcela trabalhada em situação com carga e sem carga. Outra alternativa para a determinação da patinagem é a utilização de instrumentação eletrônica com sensores, *CLPs* (controladores lógico-programáveis), *dataloggers*, e sistema de rodas odométricas, onde as leituras são realizadas em tempo mais rápido e com menos onerosidade. As informações obtidas dos sensores até então são armazenadas de forma indireta, sendo apresentadas em monitores de forma instantânea em *software* específico e armazenadas em algum tipo de mídia de armazenamento para a realização de tabulação dos dados obtidos e obtenção dos valores.

Esses dispositivos eletrônicos utilizados nas máquinas agrícolas não necessitam ter licença para utilização, são susceptíveis a erros como qualquer outro, podem ser imprecisos por serem semi-manuais e também, necessitam ter auxílio de usuários no controle das informações obtidas, e ainda apresentam custo elevado para aquisição e instalação podendo inviabilizar um trabalho ou

experimento. As rodas odométricas, geralmente de fabricantes distintos ou produzidas em oficinas, também podem encarecer o método e afetar a precisão de como este índice é determinado.

Uma alternativa a esses sistemas tradicionais já utilizados é o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados, utilizando microcontroladores para determinação de parâmetros de desempenho de tratores e o monitoramento remoto das informações durante operações agrícolas, facilitando ao pesquisador ou ao operador a obtenção de valores de patinagem dos rodados e consumo de combustível em tempo real.

Outras vantagens deste sistema são a possibilidade de obter as leituras sem que necessite de interferência humana, monitoramento de forma mais rápida e dinâmica, em tempo real, com precisão aceitável, além de ser possível executar modificações e atualizações do sistema, inclusão de dispositivos e sensores, possibilidade de implantação de algoritmos de filtragem de dados e de cálculos complexos que se realizam através do aplicativo, possibilitando a visualização de erros e a realização de correções ainda durante a atividade no campo.

Com um custo relativamente baixo, para que sirva para pequenos e médios produtores e precisão aceitável comparado a *dataloggers*, *CLPs* e sistemas de medição disponíveis no mercado, foi desenvolvido um sistema automático para medição de índices de patinagem e consumo de combustível utilizando microcontrolador e sensores.

Com base na literatura pesquisada a respeito de sistemas com as vantagens acima mencionadas, isto foi uma das motivações para o desenvolvimento do Sistema de aquisição automática de dados de patinagem dos rodados e consumo de combustível – SISAADPC - utilizando a placa de controle Arduino para aquisição de dados e informações em tempo real de parâmetros de desempenho de tratores agrícolas durante operação de tração que foi desenvolvido no Departamento de Engenharia localizado no Campus Universitário da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

1.1 Objetivos

Desenvolver e utilizar um sistema embarcado baseado na placa eletrônica Arduino para monitoramento em tempo real, e armazenamento de informações de desempenho de um trator agrícola em operação de tração.

1.2 Objetivos específicos

Validar os resultados obtidos pelo SISAADPC comparando-os com os obtidos por métodos tradicionais de determinação de patinação dos rodados do trator.

Executar ensaio para avaliação do consumo e da patinação dos rodados do trator em operação de tração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No modelo atual de produção, as máquinas agrícolas têm importante papel para atingir bons rendimentos de produção, sendo assim de grande importância ter um bom desempenho no campo. Tem-se observado nos últimos anos um grande avanço da automação na área agrícola, que ajuda na melhoria das condições de trabalho, promovendo assim, qualidade, produtividade e competitividade. Junto com esses avanços nota-se o aumento da quantidade de dispositivos eletrônicos nas máquinas agrícolas, como pode ser observado nos trabalhos de Castro et al. (2015), Garcia, Cavalcanti e Manhães (2015), Jesuíno (2007), Marchetti (2006), Masiero (2010), Monteiro (2011), Palma (2010), Russini (2009, 2011), Santos (2013), Spagnolo (2010) e Vale et al. (2010).

Uma vez que a coleta de dados se trata de etapa de grande importância num ciclo de pesquisa, pode-se automatizar o sistema de aquisição sem comprometer a precisão, reduzindo os erros gerados pela transcrição de dados, eliminando as variações induzidas pelo operador nos processos de coleta de dados e aumentando a taxa de leitura de dados (JOHNSON, 1997). Além disso, torna-se possível a tomada de decisão em tempo real.

A utilização de sistemas embarcados para a avaliação operacional de desempenho tem como objetivo apresentar ao operador os valores das variáveis, ou parâmetros, como por exemplo, patinagem e consumo de combustível, que estão sendo medidos. Geralmente, este valor medido não é igual ao valor real da variável, ou seja, o sistema de aquisição tem como entrada o valor real da variável e sua saída o valor medido (GARCIA, 2002).

A patinagem dos rodados, que é uma das mais importantes informações a serem consideradas nos tratores, pode ser obtida por várias maneiras. Dentre os métodos mais usados, tem-se a correlação entre velocidades em vazio e com carga e, também segundo o método de correlação, entre o número de voltas no rodado em vazio e com carga em distância pré-determinada, conforme Balastreire (1987) e Deere (1998), que afirmam ainda que outra maneira é em relação ao tempo de percurso dentro da parcela, nas condições com carga e sem carga. Desde então, autores têm buscado mais dinamismo em aquisições de dados como a patinagem e consumo de combustível em diversas condições de campo.

Vale (2011), em seu trabalho com avaliação de desempenho de maquinário agrícola, utilizou a metodologia proposta por Balastreire (1987), utilizando o método manual de determinação da patinagem dos rodados. Obteve resultados de patinagem dos rodados e consumo de combustível na faixa do ideal para as condições impostas, porém trata-se de um

trabalho oneroso, cansativo e com riscos de perda de precisão por se tratar de determinação manual.

Almeida, Silva e Silva (2010), Campos (2009), Gabriel Filho et al. (2010), Jesuíno (2007) e Monteiro (2011) e em trabalhos semelhantes realizados com tratores agrícolas para avaliação de desempenho, utilizaram metodologia proposta por Balastreire (1987), utilizando instrumentação eletrônica, com sistemas de aquisição, *CLPs*, sensores e equipamentos de medição de carga em vazio. Obtiveram resultados promissores tanto de patinagem e consumo de combustível, com precisão boa para avaliação dos resultados, porém aspectos como, custos de aquisição de equipamentos, demora na coleta e tabulação dos dados e necessidade de interferência de pessoal capacitado para operar os sistemas eletrônicos podem ser inviáveis para a pesquisa e para produtores em adquirir tal metodologia e equipamentos.

Já autores como Frantz (2011) e Russini (2011), em pesquisa de desempenho, utilizaram metodologia citada por Balastreire (1987) que se baseou na correlação entre velocidades do trator em vazio, obtidas por receptores GPS e velocidades das rodas obtidas por sensores indutivos, e na condição com carga. Utilizando sistemas de aquisição do tipo *dataloggers* da *Campbell Cientific* e GPS com elevada precisão e bastantes modernos, concluíram que os *dataloggers* e GPS utilizados para determinar a velocidade de deslocamento (patinagem dos rodados) tiveram boa precisão, porém o custo para aquisição de tais equipamentos e a demora na coleta e tabulação dos dados obtidos tornaram bastante oneroso o trabalho.

Russini (2009), em seu trabalho, pesquisou instrumentação eletrônica baseando-se em critérios funcionais de tal instrumentação, tais como: armazenamento de dados, determinação de velocidade das rodas, consumo de combustível e velocidade do trator. Pesquisou, também, sobre o modelo/marca de instrumento de controle e armazenamento de dados como: *CR23X*, *CLP*, *CR1000* e *placa de aquisição*. A partir da pesquisa realizada, atribuiu critérios baseando-se em: custo de aquisição, precisão, facilidade de instalação, praticidade de transferência do sistema, concluiu que *CLP* e *placa de aquisição* não foram selecionados pelo preço de aquisição e por necessitar de computador portátil acompanhando o deslocamento do trator.

O sistema proposto nesse trabalho não deixa de ser uma placa de aquisição, semelhante a que foi apresentada por Russini (2009), pois se trata de uma placa eletrônica Arduíno e que foi configurada para atuar conjuntamente com componentes eletrônicos de baixo custo como módulo *bluetooth* e cartão de memória, para o acompanhamento e

armazenamento de informações em tempo real, respectivamente, por esse motivo não necessita manter um computador ligado acompanhando o deslocamento do trator.

Ainda em sua pesquisa, Russini (2009) concluiu que, para a determinação da patinagem dos rodados por meio da velocidade das rodas e de deslocamento do trator, dentre os instrumentos receptor de GPS, roda auxiliar ou odométrica e radar de efeito Doppler, a roda auxiliar não foi selecionada por ocupar muito espaço do trator, por ser de proporções consideradas elevadas e ainda por apresentar o pior resultado (nota 4,5 na escala de 0 a 10 pontos) com relação ao tempo de montagem. Enquanto isso, o radar de efeito Doppler recebeu nota 5 (o pior resultado) com relação ao custo de aquisição.

Com base na busca de literatura por trabalhos realizados na área envolvendo metodologias e projetos de instrumentação eletrônica de tratores agrícolas, como Jesuíno (2007), Masiero (2010), Monteiro (2008, 2011), Palma (2010), Spagnolo (2010) e Vale (2011), a conclusão que se chega, ao final deste levantamento bibliográfico, é que existem muitos trabalhos semelhantes até o momento, porém possuem objetivos específicos e com finalidades de pesquisa, que não envolvem o processo como um todo, ou seja, desde o desenvolvimento do projeto, abrangendo a construção e finalização com a realização de testes.

Nesse contexto, é inovador e promissor a utilização de um sistema para aquisição de dados baseado em plataformas de livre acesso como a placa eletrônica Arduino e de uma metodologia que facilite a coleta dos dados em tempo real, com a TDA (Tração Dianteira Auxiliar) desativada e utilizando os rodados dianteiros do trator como sistema de referência de distância percorrida (e como condição sem carga), como outra alternativa à roda auxiliar. Dessa forma, espera-se obtenção de informações de forma mais rápida, sistema com custos mais reduzidos, simples de manusear e de colocar em operação, com precisão aceitável, que possa transmitir informações e alertas úteis ao gerenciador ou operador.

2.1 Ensaios de desempenho de tratores e máquinas agrícolas

A avaliação do desempenho de um trator agrícola depende de uma série de fatores que, na maioria das vezes, estão relacionados ao meio que é a base para lhe promover sustentação e propulsão, que no caso é o solo. Nas operações em que são tracionados implementos e máquinas, uma grande parte do rendimento do trator em tração está ligada ao fator solo e, por isso, é de fundamental importância estudá-lo (MÁRQUEZ, 1990).

Além do solo, há vários outros fatores que também merecem atenção como exemplos o tipo e função do pneu, lastragem, pressão de inflação dos pneus.

Ensaio realizado por Cordeiro (2000) que avaliaram um trator quanto a seu desempenho em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento mostraram que esses fatores são capazes de alterar significativamente a patinagem, a força de tração e a conversão energética do trator.

Outro parâmetro importante que é avaliado constantemente nas pesquisas é o consumo de combustível. Segundo Montanha et al. (2012), utilizando um trator de 88 kW em dois tipos distintos de solo e duas pressões de inflação, em que o trator estava puxando um canteirador de algodão, o menor consumo de combustível, em ambos os solos, foi na pressão de 124 kPa (18psi), estando na faixa de 18 L.h⁻¹.

Santos, Fernandes e Rinaldi (2006) realizaram ensaios em um trator Valmet tracionando outra marca Massey Ferguson utilizando marchas como forma de cargas, em que se determinou a força de tração, a velocidade, a potência disponível na barra de tração, o consumo horário, o consumo específico de combustível, a patinagem dos rodados e o coeficiente de tração do trator ensaiado. Concluíram que, na marcha mais leve aplicada ao trator freio, a patinagem e o consumo de combustível tiveram os menores valores em relação às marchas que requerem maior força de tração onde tiveram seus valores muito elevados, confirmando que quanto maior a carga aplicada, maior a demanda de potência a ser exigida e assim, maior o consumo de combustível e patinagem. A velocidade de deslocamento reduziu conforme o aumento da carga aplicada.

2.1.1 Patinagem dos rodados

Conforme Norma EP496.2 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 1997a), a patinagem de um rodado de tração pode ser definida como a redução de deslocamento em determinada condição de piso comparada com uma condição específica, também chamada condição zero, onde se mede o rolamento do rodado em piso indeformável e em situação sem carga.

Goering et al. (2003) definiram patinagem como a diferença entre as velocidades de deslocamento teórica e real, normalizada pela velocidade teórica. É um fenômeno decorrente dessa interação rodado-solo e que tem significativa influência sobre o desempenho operacional dos tratores. A patinagem ocorre quando a velocidade de deslocamento teórica

(velocidade rotacional das rodas motrizes) não é inteiramente convertida em deslocamento e torna-se superior à velocidade real.

Nos tratores agrícolas, a patinagem dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes, conforme relatado por Herzog et al. (2002).

Segundo Mialhe (1996), a patinagem das rodas motrizes dos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um equipamento e aquele que seria obtido nas mesmas condições depois de desacoplado o equipamento.

A ASAE (1997b) recomenda, para obtenção de máxima eficiência de tração, patinagem de 8-10% em solos não mobilizados e de 11-13% em solos mobilizados, mas é importante salientar que os solos não mobilizados não têm palhada na superfície, ou seja, o solo está descoberto. Monteiro, Lanças e Gabriel Filho (2009), ao avaliarem o desempenho de um trator com potência nominal no motor de 63 kW, concluíram que os menores valores de patinagem e de consumo específico de combustível e maior potência na barra de tração foram obtidos na condição de 3% de avanço do trator. À condição de 12% de avanço do trator apresentou os maiores valores de patinagem e de consumo específico de combustível e menor potência útil na barra de tração.

Segundo Lanças e Upadhyaya (1997), a patinagem é fundamental para que a tração aconteça, porém, os seus valores não devem ultrapassar determinados limites para que não ocorram perdas de aderência que resultam na redução da tração dos rodados. Segundo a norma OCDE - Code 2 (Organisation for Economic Co-operation and Development - OCDE, 2012), a patinagem máxima durante o ensaio de tratores agrícolas com rodados pneumáticos deve ser limitada em 15%.

2.1.2 Consumo de combustível

De acordo com Mialhe (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida constitui um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras:

- a) Em relação ao tempo ($L \cdot h^{-1}$; $kg \cdot h^{-1}$);

- b) Em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico = $g \text{ cv.h}^{-1}$; $g \cdot \text{kW.h}^{-1}$);
- c) Em relação ao consumo operacional, ou seja, por área trabalhada (L.ha^{-1}).

Ainda de acordo com Mialhe (1996), o consumo horário pode ser obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que pode ser expressa em termos ponderais (kg.h^{-1}) ou volumétrico (L.h^{-1}).

Segundo Márquez (2012), os motores Diesel apresentam maior eficiência em baixas rotações, em função da maior capacidade em admitir oxigênio (comburente), maior tempo para completar o ciclo da combustão e em função do menor atrito entre os componentes dinâmicos e estáticos do motor. Neste sentido, motores que operam em menores regimes de rotação têm grande tendência a um menor consumo de combustível.

Os autores Silva e Benez (1997) relatam que o monitoramento do desempenho do trator é algo de extremo interesse e que objetiva otimizar a operação do mesmo para aumentar a eficiência de consumo do combustível no intuito de maximizar a quantidade de trabalho produzido por unidade de combustível consumido.

Segundo Montanha et al. (2012), utilizando um trator de 88 kW em dois tipos distintos de solo e duas pressões de inflação onde o trator estava puxando um canteirador de algodão, o menor consumo de combustível em ambos os solos foi na pressão de 124 Psi, estando na faixa de 18 L.h^{-1} .

Segundo Pereira (1998), o gasto de combustível é um componente importante na composição dos custos de uma lavoura. Furlani (2000) obteve maior consumo de combustível por área trabalhada em solo escarificado ($9,3 \text{ L ha}^{-1}$), seguido pelo preparo convencional ($7,6 \text{ L.ha}^{-1}$) e plantio direto ($7,1 \text{ L ha}^{-1}$) e encontrou valores para capacidade de campo efetiva de $1,57 \text{ ha h}^{-1}$ para plantio direto; $1,50 \text{ ha.h}^{-1}$ para plantio convencional e $1,40 \text{ ha h}^{-1}$ para plantio em solo escarificado, ao avaliar uma semeadora de seis linhas para feijão. Mahl et al. (2004), avaliando um conjunto trator-semeadora na semeadura do milho, verificaram que ao aumentar a velocidade de deslocamento do conjunto de $4,4 \text{ km h}^{-1}$ para $8,1 \text{ km h}^{-1}$, conseguiu-se incremento de 86 % da capacidade de campo efetiva e redução de 26% no consumo operacional de combustível.

Conforme Almeida, Silva e Silva (2010), para aumentar a velocidade de deslocamento em pequenas proporções, normalmente o operador eleva a rotação de trabalho, resultando em queda de torque do motor e aumento no consumo de combustível. Estima-se que a maioria dos motores dos tratores atualmente disponível no mercado atinja seu torque máximo em

rotações inferiores a 1500 rpm. A partir desta faixa de rotação, a reserva de torque começa a diminuir, a potência requerida na barra de tração e o consumo de combustível passam a aumentar gradativamente, à medida que se aumenta ainda mais a rotação do motor sem a troca das marchas.

2.2 Sistemas Embarcados

De acordo com Stallings (2008), sistemas embarcados consistem em uma combinação de *Hardware*, *Software* e componentes adicionais mecânicos, desenvolvidos para a execução de uma função dedicada. Esses sistemas computacionais aplicados diferem de sistemas, como computadores pessoais ou supercomputadores, apresentando maiores limitações de funcionalidades de *hardware* e de *software* (NOERGAARD, 2005).

Nos dias atuais, é difícil encontrar segmentos que não envolvam direta ou indiretamente sistemas embarcados. Conforme Li (2003), Noergaard (2005) e Stallings (2008), esses sistemas estão distribuídos em diferentes áreas como indústria automotiva, eletrônica de consumo, aviãoica, controle industrial, instrumentos médicos e dispositivos de rede.

Friedrich (2009) determina onze qualidades que definem requisitos não funcionais utilizados para julgar a operação dos sistemas embarcados e Santos (2013) as descreveu como sendo:

- a) Recursos limitados de computação, pois devem ser utilizados de maneira eficiente;
- b) Requisitos de tempo real, em que os sistemas embarcados interagem com o ambiente, necessitando reagir corretamente dentro de requisitos estritos de tempo;
- c) Portabilidade a diferentes tipos de CPU's (unidade de processamento central), periféricos e memórias podem ser usados em sistemas embarcados;
- d) Alta confiabilidade, já que são usados remotamente e em aplicações críticas, o que torna a correção de falhas problemática, extremamente cara e até mesmo impossível de correção;
- e) Robustez e estabilidade do sistema, em que o sistema deve operar fora de condições nominais e evitar interrupções na operação;
- f) Tratamento de falhas: os sistemas devem identificar e tratar erros e garantir tolerância a falhas da aplicação;

- g) Operação segura: os sistemas devem prevenir ferimentos, perdas de vida e danos a propriedades e ao ambiente;
- h) Segurança de informações: os sistemas devem evitar que informações internas sejam usadas ou alteradas por usuários não autorizados;
- i) Privacidade, em que os sistemas devem possuir a habilidade de isolar e revelar seletivamente informações;
- j) Escalabilidade: o sistema deve ser capaz de gerenciar o aumento na carga de trabalho e possibilitar a expansão;
- k) Atualização: os sistemas devem permitir que a especificação seja aprimorada, adicionando ou substituindo componentes.

2.2.1 Sistemas embarcados na agricultura de precisão

Segundo Cox (2002), a agricultura de precisão é o efeito de um amplo conjunto de ferramentas que tem como finalidade a coleta de dados ou a realização de algum tipo de tarefa, e não somente do uso de instrumentos de posicionamento global (GPS).

A agricultura de precisão engloba tecnologias e novos conhecimentos de informática, eletrônica, geoprocessamento, entre outros (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002). De acordo com Swinton e Lowenberg-Deboer (1998), é uma forma de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola; é um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento-chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos.

As tecnologias disponíveis na agricultura de precisão podem ser agrupadas em seis principais categorias, tais como: a utilização de *softwares* computacionais; um sistema de posicionamento global (GPS); um sistema de informação geográfica (SIG); técnicas de sensoriamento remoto; utilização de sensores e de controladores eletrônicos de aplicação. Requer a aquisição, manejo, processamento e análise de grande quantidade de dados que variam no espaço e no tempo. É a integração dessas tecnologias que permitiu aos pesquisadores, extensionistas, consultores e agricultores fazer coisas impossíveis no passado, com detalhes nunca antes obtidos e, quando feito corretamente, com qualidade nunca atingida (FORTIN; PIERCE, 1998).

De acordo com Auernhammer (2004) e Auernhammer e Speckmann (2006) o desenvolvimento de tecnologias e dispositivos para aquisição de dados e atuação em tempo real é importante para viabilizar a análise de variabilidade espacial por meio de

sensoriamento, automatizar máquinas agrícolas e fornecer suporte para novas práticas de manejo. Diferentes etapas compõem a agricultura de precisão tais como: a identificação e caracterização da variabilidade, a identificação do(s) principal(is) fator(es) limitante(s), desenvolvimento de um plano de ação, manejo da variabilidade e avaliação econômica e ambiental.

A automação da produção agrícola, ocorrida nas últimas décadas, proporcionou algumas mudanças na estrutura dos custos dos produtos das organizações rurais, como exemplo disso, significativa redução dos custos com mão-de-obra e a evolução dos custos com depreciação e manutenção de máquinas. Os chamados custos de mecanização passaram a representar o segundo principal componente do custo de produção na atividade rural, perdendo apenas para os insumos conforme Vieira e Brizola (2009), por isso, nas propriedades mecanizadas, o monitoramento do trabalho realizado pelas máquinas e implementos agrícolas merece grande atenção.

De acordo com Russini (2009), o desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica utilizando sensores conectados a um sistema de aquisição fornece dados referentes ao desempenho do trator durante as operações, tendo-se assim dados suficientes para caracterizar o desempenho desta máquina. O autor ainda selecionou a instrumentação eletrônica necessária para seus testes de campo com trator, que contou com receptor de GPS Garmin GPS map, fluxômetro de combustível Oval Corporation, sensores indutivos (de rodas), e *datalogger* CR1000 Cambell Scientific, em que no total o custo de toda a instrumentação foi de R\$13.100,00 (treze mil e cem reais).

Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011) apresentaram, em seu trabalho, diferentes modos de operar o Arduino para funcionar como uma interface alternativa na aquisição de dados em atividades experimentais de física via porta *USB* do computador. Foi selecionado como exemplo de aplicação o estudo de carga e descarga de um capacitor. As etapas de interação com o Arduino passaram pelo processo de construção do circuito, coleta e armazenagem de dados em formato com extensão *.txt* e visualização gráfica em tempo real através da linguagem *Processing*. Para cada etapa, foram apresentadas propostas didáticas de utilização, todos os códigos fontes necessários para a interação com o Arduino, além de links para acesso a tutoriais que possibilitam a reprodução deste e outros experimentos.

Kamogawa e Miranda (2013) utilizaram a plataforma Arduino para controlar válvulas solenoides para soluções de tratamento em sistemas de análise de fluxo. Nas avaliações, observaram que o Arduino provou ser um microcontrolador confiável com baixo custo e interface simples, permitindo a comunicação USB com dispositivos solenoides utilizados em sistemas de fluxo.

Um sistema de medição de parâmetros físicos do desempenho de tratores agrícolas depende fundamentalmente dos tipos de sensores que o constitui. Os sistemas mais habituais, de concepção relativamente simples e normalmente de custo reduzido, desenvolvidos à fácil adaptação em qualquer trator nas diversas condições de trabalho, têm como sensores: um radar, uma célula de carga, um medidor de fluxo e sensores magnéticos de proximidade (SERRANO, 2007).

Garcia, Tavolaro e Molisani (2015) avaliaram um sensor de fluxo de combustível utilizando a placa eletrônica Arduino como um sistema de aquisição de dados, buscando a coleta de dados de uma forma eficiente e de baixo custo e a redução dos erros tradicionais gerados pela coleta de dados convencional. Concluíram que o dispositivo desenvolvido apresentou facilidade de operação, permitindo rapidez na aquisição de dados, e capacidade para atender a demandas de diversas pesquisas, podendo ser utilizado em diferentes tipos de máquinas agrícolas e em diferentes necessidades de aquisição de dados.

Lopes et al. (2003), ao montarem um protótipo de sistema instrumental para medição do consumo de combustível em tratores, verificaram que o mesmo apresentou praticidade para variar o tipo de combustível, simplicidade na instalação e operação, bem como manutenção do mesmo. Seu protótipo montado permitiu determinar o consumo horário (L.h⁻¹), possibilitando também determinar o consumo específico na forma estática com uso de dinamômetro ou de forma dinâmica mediante instalação de uma célula de carga para medição da força de tração.

2.3 A placa eletrônica Arduino

O Arduino é um sistema embarcado capaz de processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Segundo McRoberts (2011) é uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e programa, sendo que existem várias placas Arduino, tais como: Arduino UNO, Mega, Severino, ADK e Leonardo. A diferença entre eles é o micro controlador e o número de portas seriais e digitais que são disponibilizadas. Segundo Timmis (2011), o Arduino também pode ser estendido utilizando os *shields* (escudos), que são placas de circuito contendo outros dispositivos (por exemplo, receptores GPS e displays de LCD).

No Arduino, informações ou ordens são transmitidas de um computador para a placa por *bluetooth*, *wireless*, USB, infravermelho. Essas informações devem ser traduzidas utilizando a linguagem *Wiring* baseada em C++.

Este sistema apresenta código aberto (livre acesso) baseado em um microcontrolador de manuseio simples e um ambiente de desenvolvimento para implementar programas para a placa de controle. Pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos, tendo entradas a partir de uma variedade de sensores ou interruptores e controle de uma variedade de saídas. As placas podem ser montadas à mão ou compradas pré-montadas, e o código aberto pode ser obtido gratuitamente. A sua linguagem de programação é uma aplicação baseada em *Wiring*, semelhante a uma plataforma computacional física, que é fundamentada no ambiente de programação de *Processing multimedia* (ARDUINO, 2013).

A sua utilização está amplamente difundida no mundo devido ao seu baixo custo; facilidade de operação por ter uma linguagem simples e uso em diversas plataformas (*Windows, Macintosh OSX* e sistema operacional *Linux*).

De acordo com Werneck (1996), a placa de controle do Arduino apresenta entrada de dados (IN), como sensores, e saída de dados (OUT), como motores e *leds*, um cristal oscilador de 16 MHz, um regulador de tensão de 5 V, botão de *reset*, *plug* de alimentação, pinos conectores, e alguns *leds* para facilitar a verificação do funcionamento. A porta USB fornece alimentação enquanto estiver conectado ao computador, e a tensão de alimentação quando desconectado pode variar de 7 V a 12 V, devido ao regulador presente na placa.

2.4 Sensores e transdutores

Os sensores e transdutores na agricultura têm como principal finalidade a aquisição de dados, e podem ser instalados em tratores e máquinas agrícolas. Possibilitam a coleta automatizada dos dados, eliminando-se assim erros gerados pela transcrição de dados e também aumentando a taxa de leitura das variáveis (JOHNSON, 1997).

Thomazini e Albuquerque (2005) definem “sensor”, como o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente, o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle, passando geralmente por um dispositivo condicionador de sinais que funciona como um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

Horowitz e Hill (1997) definem em seus trabalhos “transdutores”, como os sensores que convertem grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, magnetismo, peso, aceleração, intensidade do som, em grandezas elétricas, gerando sinais que podem ser manipulados por circuitos eletrônicos, quantificados por um conversor analógico-digital e analisados por computadores ou *dataloggers*.

Desta forma, pode-se definir que sensores são dispositivos que convertem variação de uma grandeza física (temperatura, pressão, velocidade, altitude, entre outras) e transmitem esta informação de forma que possa ser lida por pessoas ou transmitidas para elemento de controle do sistema. A maior parte dos sensores é de transdutores elétricos, pois eles convertem a grandeza de entrada para uma grandeza elétrica, que pode ser processada por um circuito elétrico ou eletrônico.

2.4.1 Sensores de posição ou deslocamento

De acordo com Bolton (2010), sensores de posição ou deslocamento são destinados a medir a posição e a quantidade de movimento de algum objeto em relação a um ponto de referência. Conforme o mesmo autor, há vários tipos de sensores de deslocamento e podem ser utilizados para diversos casos, como por exemplo, o sensor capacitivo, em que o deslocamento do objeto faz com que a separação das placas de um capacitor seja alterada e a leitura da capacitância dá a posição do objeto; o sensor de proximidade indutiva, que consiste de uma bobina em torno de um núcleo e quando a extremidade do núcleo se aproxima de um objeto metálico, sua indutância varia identificando o deslocamento do objeto. Outros sensores como o potenciômetro, transformadores diferenciais, entre outros, também são bastante utilizados.

De acordo com Fontes (2011), os sensores de rotação conhecidos como gerador de pulsos ou *encoders* são equipamentos eletromecânicos, utilizados para conversão de movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em pulsos elétricos, gerando uma quantidade exata de pulsos por volta em uma distribuição ao longo dos 360 graus de giro do seu eixo.

Rosário (2005) definiu o *encoder* como um transdutor que converte um movimento angular ou linear em uma série de pulsos digitais elétricos. Estes pulsos gerados podem ser usados para determinar velocidade, aceleração, distância, posição ou direção. Suas principais aplicações são: em eixos de robôs; controle de velocidade e posicionamento de motores elétricos; posicionamento de antenas, telescópios e radares, além de medição de grandezas de forma direta ou indireta.

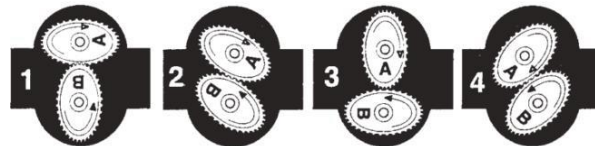
No caso dos *encoders*, Bolton (2010) cita que a vantagem de este sensor ser utilizado é que são lineares ou podem ser programados para qualquer outro tipo de resposta, são precisos, possuem desgaste muito baixo e o circuito de condicionamento é simples. A única desvantagem é que necessita ser adaptado a algum objeto mecânico.

2.4.2 Sensores de vazão

Conforme Fontes (2011), sensores de vazão são transdutores que permitem a mensuração da quantidade volumétrica de uma determinada substância que transpassa pelo seu interior, também denominados fluxômetro, que é um medidor de fluxo ou vazão de líquidos e gases.

Existem alguns tipos de sensores de vazão, sendo que os mais comuns usam engrenagens dispostas no caminho do fluxo do líquido a ser medido, sendo que, quanto maior for o fluxo, maior é a rotação das engrenagens. No caso do fluxômetro eletromecânico, a rotação de uma engrenagem é convertida em tensão (saída proporcional) ou em pulsos por unidade de fluxo (saída por pulsos). A Figura 1 mostra o sistema de engrenagens de um medidor de fluxo.

Figura 1 - Sistemas de engrenagens de fluxômetro de combustível.



Fonte: Oval Corporation

Os sensores de fluxo vêm com muitos recursos diferentes, dependendo da aplicação. Alguns são capazes de medir fluxo em vazões extremamente pequenas e apresentam diversos métodos utilizados para as medições. Conforme Killian (2004) existem medidores diferenciais de fluxo de pressão conhecido como Placa de orifício, que apresentam uma obstrução num tubo, e a queda de pressão cria fluxos de líquidos em torno, onde é aplicada a equação de Bernoulli para a conservação de energia em dinâmica de fluidos para calcular a taxa de fluxo. Existem, também, medidores de fluxo que utilizam uma placa de orifício para obstruir o tubo, e compara a pressão até velocidade do fluxo do líquido à sua pressão a jusante, onde o fluido é constringido pela placa.

2.5 Transmissão Bluetooth

A praticidade e comodidade proporcionada pelas tecnologias que possibilitam a troca de dados sem fio vem tornando-as cada vez mais populares e passíveis de serem encontradas nos mais diversos tipos de equipamentos, como televisores, veículos, caixas de som, *smartphones* e outros.

O *Bluetooth* é uma tecnologia projetada para propiciar a comunicação entre dispositivos a curta distância e sem a utilização de cabos. Esta tecnologia possibilita que equipamentos com diferentes funções comuniquem-se e ampliem as suas possibilidades de utilização. Desde a sua concepção, há duas décadas, a tecnologia *Bluetooth* vem sendo desenvolvida e ampliada em sua diversidade de aplicações, destacando-se dentre as tecnologias a serem utilizadas na “Internet das Coisas” (ATMEL CORPORATION, 2014; RIBEIRO, 2014).

As aplicações que podem ser dadas a estas tecnologias sem fio são inúmeras. Atualmente, podem ser encontradas em diversas áreas. De acordo com Wang, George e Green (2014), na agricultura, sistemas utilizando a tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) podem auxiliar agricultores a monitorar parâmetros do subsolo, como temperatura e umidade. As informações de monitoramento de solo e velocidade do vento podem ser enviadas a computadores, através da tecnologia *Bluetooth*, possibilitando a análise destas (JUNCO, 2015). Autores como Al Kalbani et al. (2015) informam que, na área de transporte, as pessoas com deficiência visual e os ônibus são identificados por RFID, sendo o deficiente visual informado por voz, quanto à chegada do ônibus, e o motorista, da existência deste na estação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este projeto foi desenvolvido nos laboratórios do Departamento de Engenharia e de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras – UFLA, MG. Quanto aos ensaios realizados no campo referentes à validação do sistema, estes foram executados no próprio Campus da Universidade, em área destinada à prática de experimentos e pesquisas de campo descritas e caracterizadas no decorrer do texto.

O projeto foi realizado em 3 etapas como sendo: Desenvolvimento do SISAADPC; Calibração; Validação de Campo.

3.1 Desenvolvimento do SISAADPC

Para o desenvolvimento do SISAADPC, foram realizados o desenvolvimento de *hardware e o de software*.

No desenvolvimento do hardware do SISAADPC foram montados o microcontrolador Arduíno, realizou-se o desenvolvimento da placa de circuito impresso, a montagem dos dispositivos referentes ao adaptador para Micro SD card e módulo bluetooth e o desenvolvimento do esquemático de ligações eletrônicas, a confecção da placa de circuito impresso e a montagem do painel de controle (protótipo do sistema de aquisição).

No desenvolvimento de software foram realizados o desenvolvimento de um programa para o microcontrolador, utilizando a linguagem C++; interface, monitoramento remoto e configuração dos parâmetros de leitura, bem como a comunicação dos dados via dispositivos e seu armazenamento.

3.1.1 Diagrama de blocos

O funcionamento básico do SISAADPC é composto pelo Sistema Embarcado e Módulo Coletor.

3.1.1.1 Sistema Embarcado

O Sistema Embarcado é onde se encontra o microcontrolador que realiza a leitura dos sinais obtidos pelos sensores e gravação dos dados. Este componente também é responsável pela transmissão de dados através da rede de computadores para o servidor central. O sistema

embarcado é composto pelo módulo de gravação de cartão de memória, módulo *bluetooth* para comunicação com aplicativos Android, controlador.

O módulo de gravação de cartão de memória grava os dados coletados em um cartão de memória Micro SD. Estes dados são uma cópia dos dados enviados através da rede e podem ser lidos diretamente em computador que possua leitor de cartão de memória.

O módulo *bluetooth* para comunicação com aplicativos Android permite monitorar e acompanhar em tempo real os dados obtidos por meio de aparelhos portáteis com sistema Android.

O controlador exerce todo o controle sobre o sistema embarcado através do processador *Atmega 2560*, que é o componente eletrônico da placa responsável pelo processamento das informações.

3.1.1.2 Módulo Coletor

Este módulo é composto dos sensores utilizados: sensor de deslocamento (*encoder*), fluxômetro de combustível. O SISAADPC tem a possibilidade de adicionar vários coletores através das portas disponíveis (analógicas e digitais) no microcontrolador.

3.1.2 Visão Geral do Sistema

Conforme a Figura 2, o SISAADPC foi montado apresentando como centro de controle a placa eletrônica Arduino modelo Mega e a ela são conectados o celular ou tablet (via *bluetooth*), a coleta e armazenamento de dados (via adaptador de *cartão Micro SD*) e as conexões dos módulos e sensores.

Figura 2 - Visão geral do sistema de aquisição de dados.



Fonte: Dados do autor (2017)

3.1.3 Placa eletrônica Arduino

O protótipo do SISAADPC foi desenvolvido por meio de uma placa de desenvolvimento Arduino Mega, baseada no processador modelo *ATmega 2560*. A placa eletrônica Arduino foi utilizada para a coleta, registro, processamento e armazenamento de dados, além de possibilitar a interface com o usuário em tempo real.

Suas especificações e características básicas são a composição do processador *ATmega 2560*, tensão de operação de 5V, apresenta 54 portas digitais e 16 portas analógicas. O Arduino tem seu próprio ambiente de programação baseado na linguagem C⁺⁺.

Na Figura 3 observa-se a placa controladora Arduino utilizada para montagem e desenvolvimento do SISAADPC.

Figura 3 - Placa eletrônica Arduino modelo Mega.



Fonte: Dados do autor (2017).

A placa Arduíno apresenta, além das portas analógicas e digitais, um botão *reset*, alimentação para ligação em tomada de energia e comunicação via USB para ligação e comunicação com computador e leds de sinalização de condição ligado ou desligado.

Esta placa de desenvolvimento é facilmente encontrada no mercado nacional, possuindo vasta documentação de projetos disponíveis na Internet. Os periféricos, também podem ser associados a esta placa de desenvolvimento, podem ser encontrados no mercado nacional.

O uso da placa eletrônica Arduino permite que o sistema criado seja remontado por meio da aquisição de uma nova placa e os respectivos *Shields* utilizados neste projeto ou através do projeto da placa de circuito impresso PCB.

3.1.4 Cartão de memória MicroSD

Com o objetivo de armazenar os dados obtidos dos sensores utilizados, foi incluído ao SISAADPC, como forma de opção, um adaptador para cartão de memória modelo *micro card adapter*, versão 1.0, marca Catalex, conforme Figura 4.

Figura 4 - Adaptador de cartão de memória micro SD.

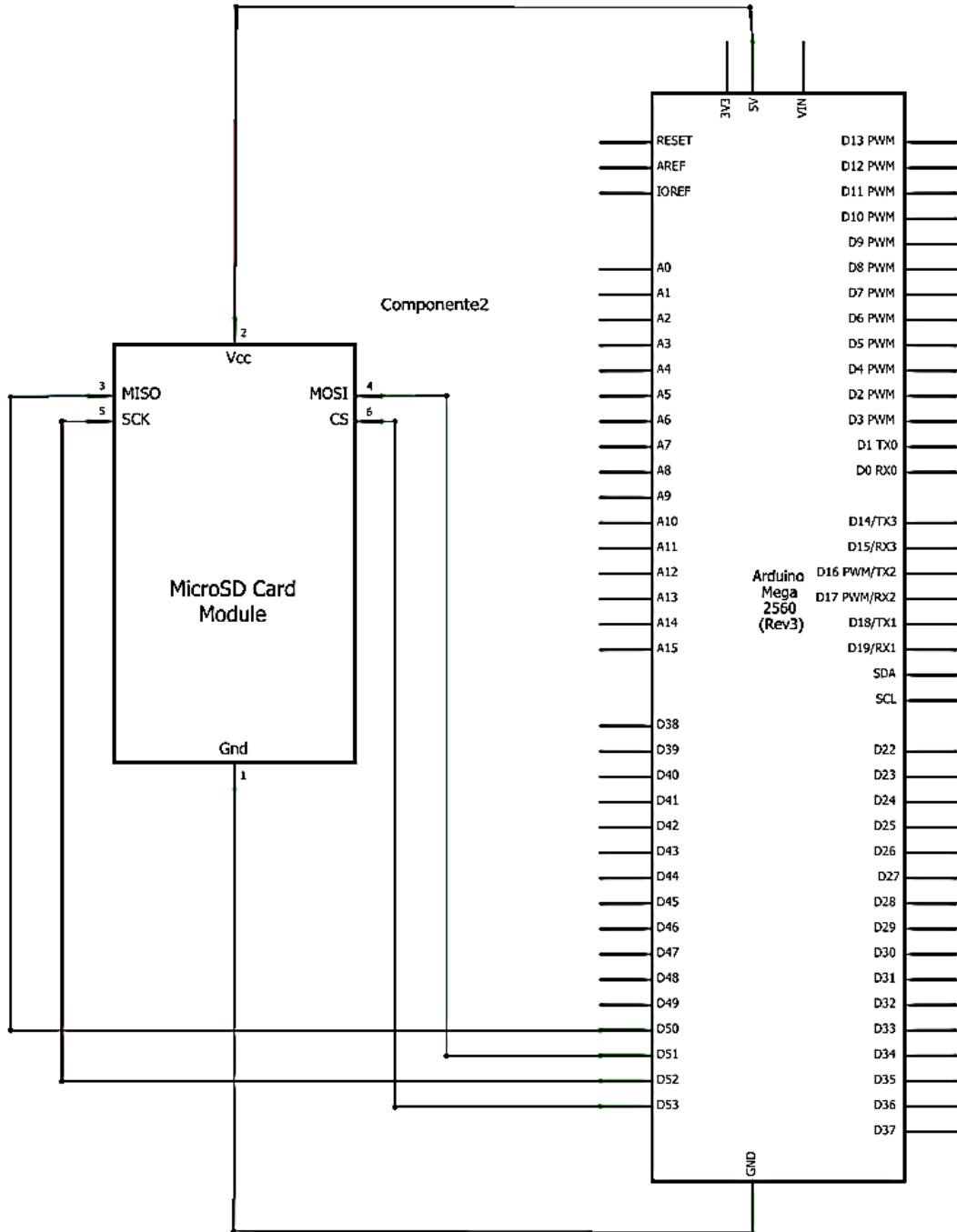


Fonte: Dados do autor (2017)

O adaptador de cartão de memória tem a função apenas de armazenagem dos dados obtidos dos sensores e ao final da operação possibilita a análise dos dados da operação.

Na Figura 5 observa-se a ligação do adaptador de cartão de memória com as portas digitais e de alimentação do Arduino.

Figura 5 - Conexão Cartão de memória nas portas digitais e de alimentação do Arduino.



Fonte: Dados do autor (2017)

Conforme a Figura 5, o Gnd e Vcc do cartão de memória se referem ao fio terra (-) e a alimentação (+), respectivamente, que se ligam às portas Gnd e 5V (5 volts) de alimentação do Arduino. Enquanto isso as portas digitais 50 a 53 do Arduino são ligadas aos pinos MISO,

MOSI, ScK (que correspondem ao barramento) e CS (que corresponde ao sinal) do adaptador de cartão de memória, respectivamente.

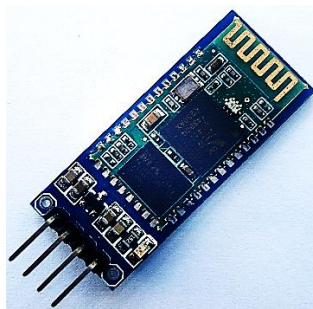
Depois da preparação dos sensores, programação e desenvolvimento dos aplicativos e *software* para aquisição e monitoramento do sistema, os materiais foram montados em caixa resistente, com a finalidade de proteger e abrigar componentes eletrônicos do sistema a ser utilizada, como: bateria selada, placa eletrônica Arduino, placa perfurada com conectores dos sensores a serem utilizados, fios elétricos, entre outros. Os sensores utilizados foram conectados com a placa de controle Arduino com a finalidade de coleta, registro e processamento de dados.

3.1.5 Módulo Bluetooth

As informações obtidas pelos sensores podem ser armazenadas na memória da própria placa (EEPROM) e, ainda podem ser enviadas em tempo real a um aparelho portátil ou tablet num raio de até 1000 m, sendo neste último caso utilizando o módulo *Bluetooth* para comunicação entre a placa e algum aplicativo para celular desenvolvido.

Utilizou-se o módulo Bluetooth modelo RS 232 HC-05 (FIGURA 6) para fazer a comunicação que permitisse o acesso a uma página criada em um aplicativo Android através de um programa desenvolvido e implementado no Arduino.

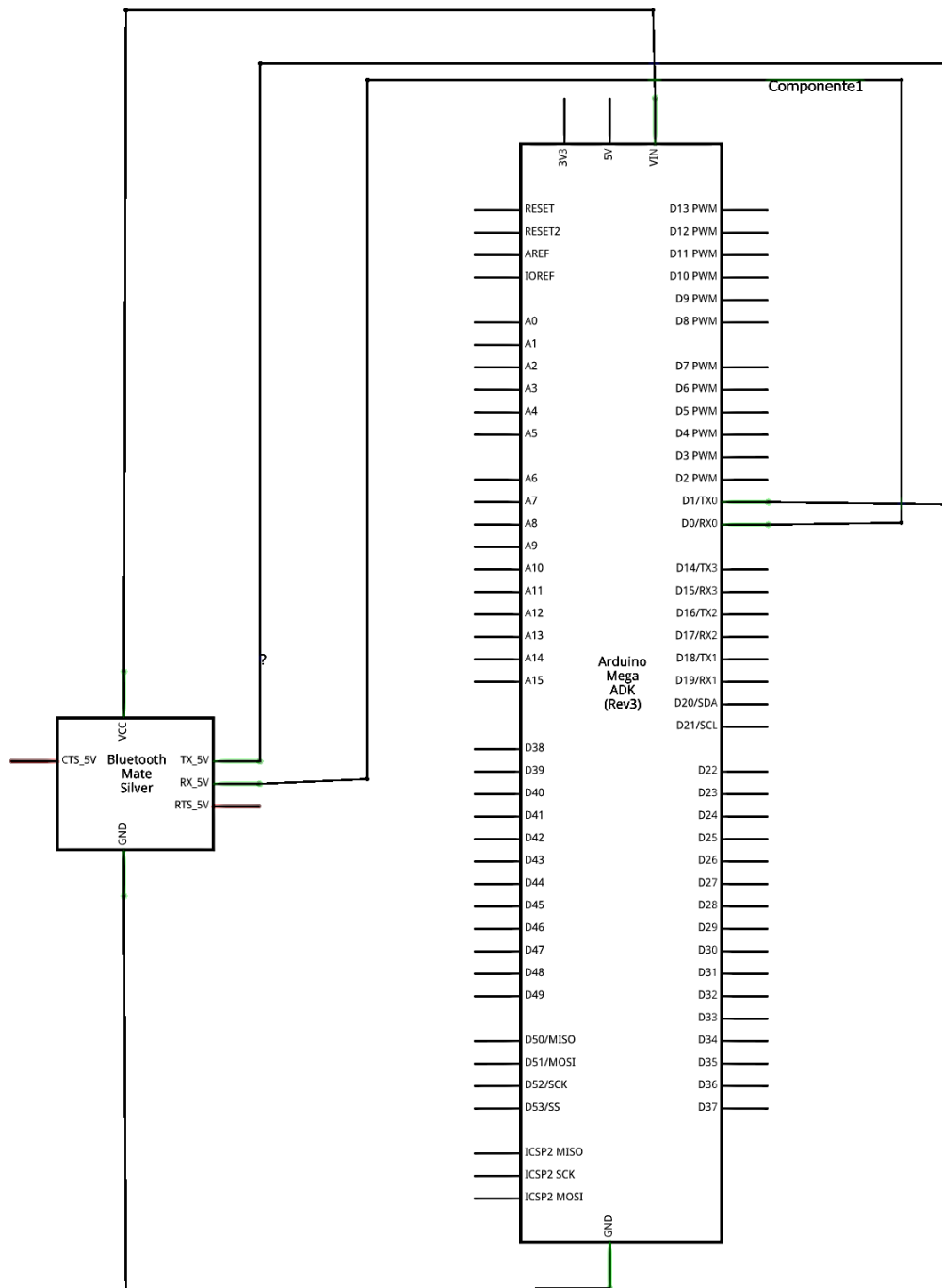
Figura 6 - Módulo Bluetooth para comunicação com Arduino.



Fonte: Dados do autor (2017)

Na Figura 7 pode-se observar o esquema de ligações entre o módulo *Bluetooth* e as portas da placa eletrônica Arduino.

Figura 7 - Conexão Módulo Bluetooth nas portas digitais e de alimentação do Arduino.



Fonte: Dados do autor (2017)

Conforme observa-se na Figura 7, a ligação referente aos pinos Gnd e Vcc do módulo *bluetooth* referem-se respectivamente ao aterramento e à alimentação do dispositivo, enquanto as ligações referentes aos componentes TX_5V e RX_5V referem-se respectivamente à transmissão e recepção dos sinais do componente com a placa.

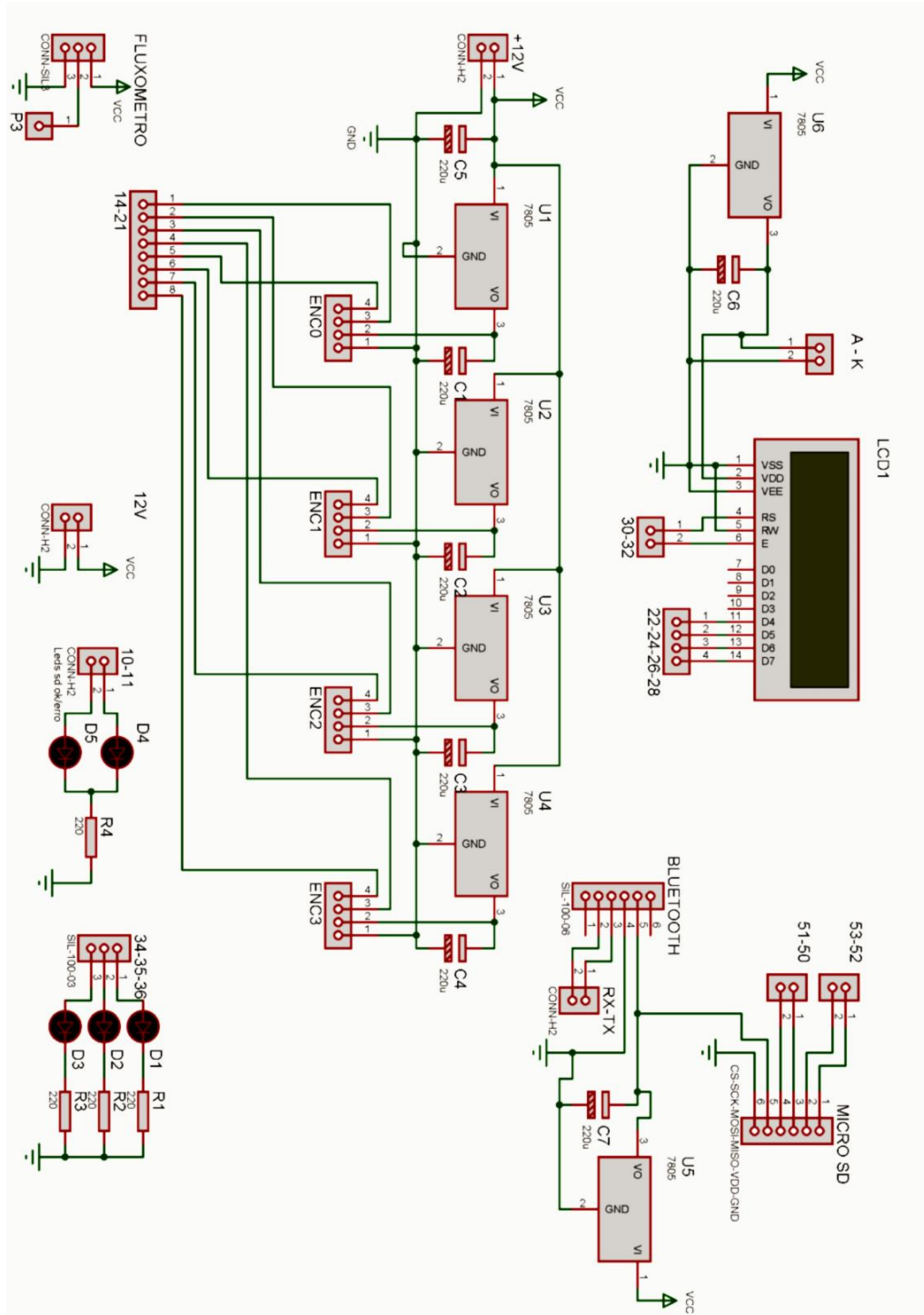
3.1.6 Placa de circuito impresso

Para preparo da placa de circuito impresso, que apresenta todas as ligações elétricas e circuitos do sistema, é necessário seguir etapas importantes para sua montagem que são o preparo do “Esquemático” elétrico e o projeto de “*Layout*” das trilhas ou *PCB (Printed Circuit Board)* da placa. Essas etapas são realizadas de forma manual ou por *software* computacional específico. No caso foi utilizado o *software* Proteus versão Professional 8.0.

O “Esquemático” elétrico no ambiente do *software* é o local onde faz-se um esboço ou croqui de todas as ligações elétricas e onde também contém todos os componentes eletrônicos do sistema, tais como, reguladores de tensão, capacitores, resistores, conectores, aterramento, entre outros. A partir desse esquemático prepara-se o *layout* da placa a ser fresada, que é o projeto que serve para localizar e organizar todos os componentes eletrônicos que estarão soldados e montados à placa de circuito, enfim utilizado no acabamento e confecção sob o ponto de vista de design da placa de circuito impresso. A partir do desenvolvimento do *layout* da placa, que deverá ser gravado e salvo no *software* da máquina fresadora, e esta executa a confecção da placa.

Na Figura 8 pode-se observar o esquemático montado para facilitar a montagem e confecção da placa de circuito impresso.

Figura 8 - Esquemático de ligações utilizado como ferramenta para confecção da placa de circuito impressa.



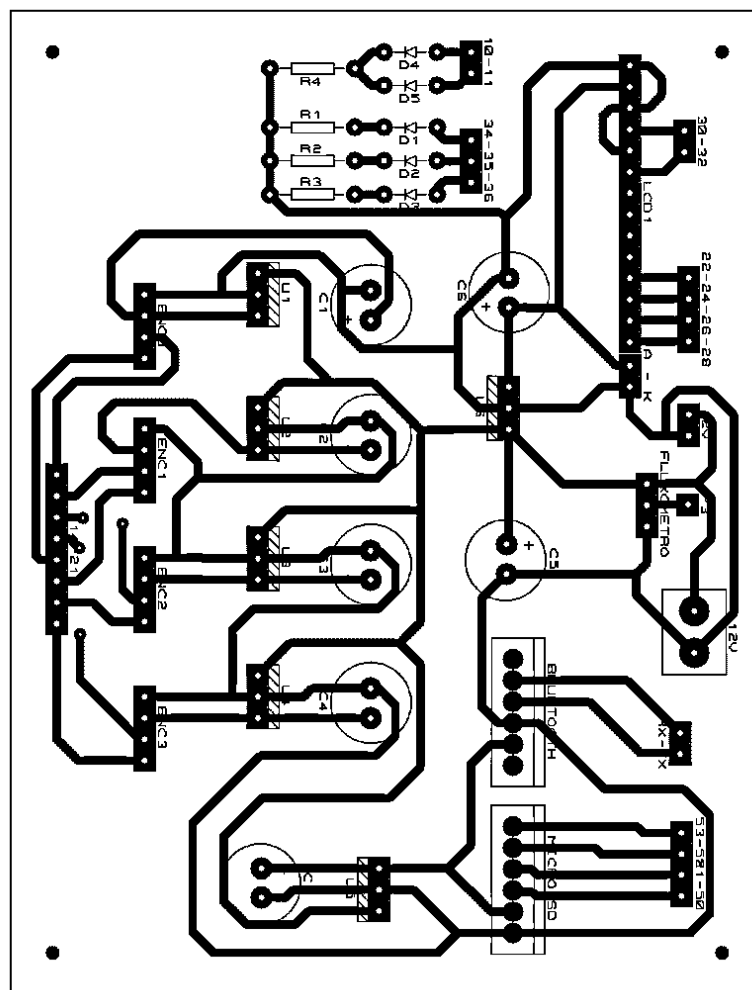
Fonte: Dados do autor (2017).

Observa-se na Figura 8 os componentes eletrônicos e os conectores empregados nas ligações com seus respectivos sensores. Os conectores ENCO, ENC1, ENC2, ENC3, FLUXOMETRO representam os conectores que serão ligados aos sensores, sendo cada conector ligado a um capacitor (C1, C2, C3, C4, C5) e um regulador de tensão (U1, U2, U3,

U4, U5). Enquanto os componentes representados por D1, D2 e D3 representam *leds* referentes às informações de patinagem dos rodados que acenderão conforme níveis desse parâmetro forem atingidos, enquanto os componentes D4 e D5 representam *leds* referentes ao funcionamento do cartão de memória. Os componentes representados por P3; 14-21; 10-11; 34-35-36; 30-32; 22-24-26-28; 51-50 e 53-52 referem-se às portas da placa eletrônica Arduino que serão utilizadas no controle dos sinais. O componente representado por BLUETOOTH refere-se ao conector do módulo *bluetooth* que é utilizado para acompanhamento e/ou armazenamento dos dados obtidos durante operação. O componente representado por 12V refere-se a uma bateria estacionária selada de 12V de tensão e amperagem de 7,5A utilizada para alimentação do sistema.

Após a finalização do projeto do “Esquemático” elétrico de ligações, foi necessário desenvolvimento do projeto de layout (FIGURA 9) no próprio software computacional.

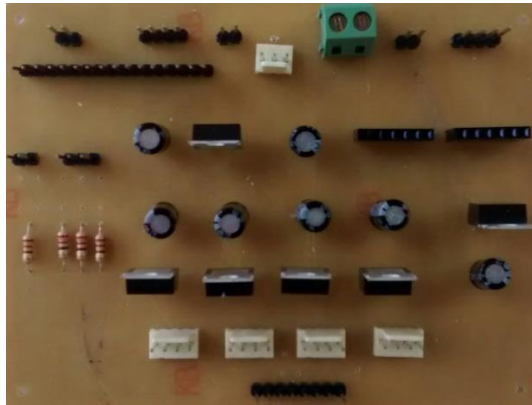
Figura 9 - Projeto de Layout de placa de circuito a ser fresada.



Fonte: Dados do autor (2017)

A Figura 10 apresenta a placa de circuito depois de fresada e confeccionada juntamente com seus respectivos componentes, desenvolvida no Laboratório de Eletrônica do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras. Sua fresagem foi realizada por máquina automatizada da marca Laser e Instruments modelo LPKF S63.

Figura 10 - Placa de circuito impresso confeccionada.



Fonte: Dados do autor (2017)

3.1.7 Sensores utilizados

A seguir serão descritos os respectivos sensores utilizados no projeto para obtenção dos sinais e coleta dos dados durante os ensaios de validação de campo.

3.1.7.1 Sensores de deslocamento (encoders)

Os sensores de deslocamento escolhidos foram os *encoders* (geradores de pulso) devido à sua disponibilidade na instituição e à sua elevada precisão. A determinação da patinação do trator será obtida utilizando-se quatro geradores de pulsos, modelo GIDP-60-U-12V (FIGURA 11). Os geradores de pulsos são da empresa S&E Instrumentos de Testes e Medições, número de pulsos máximo de 500, saída tipo TTL, frequência máxima de 50 KHz, alimentação 5V, com consumo de 30mA sem carga, que será fixado nos rodados motrizes do trator.

Figura 11 - *Encoders* ópticos utilizados nas determinações da patinagem.



Fonte: Dados do autor (2017)

3.1.7.2 Fluxômetro de combustível

O fluxômetro de combustível que apresentou melhor custo benefício e facilidade para aquisição e disponibilidade no mercado foi o FLOWMATE OVAL MIII. Este sensor é fabricado pela OVAL Corporation, modelo LFS45, vazão de 1 mL/pulso (FIGURA 4). É alimentado por tensão contínua (12~24 V), faixa de temperatura de trabalho entre -20 e 80°C e vazão permitida de 1 a 100 L.h⁻¹. O princípio de funcionamento consiste em contabilizar a quantidade de volume de combustível por unidade de tempo.

A Figura 12 apresenta o fluxômetro utilizado como parte do sistema.

Figura 12 - Fluxômetro de combustível utilizado para medição do consumo de combustível.



Fonte: Dados do autor (2017).

3.1.8 Desenvolvimento do *software* e comunicação de dados

O desenvolvimento do software para o microcontrolador foi realizado por meio do ambiente integrado de desenvolvimento (IDE - *Integrated Development Environment*). Este ambiente fornece ferramentas e bibliotecas que otimizam o desenvolvimento de *software*.

Por meio do ambiente de programação do Arduino, foi desenvolvido um aplicativo de aquisição de dados para apresentar os dados dos parâmetros de desempenho na porta serial

USB, em tempo real. Os sensores utilizados foram comunicados e conectados conforme descrito e ilustrado no item 3.3 na figura que representa a visão geral do sistema.

No ambiente de programação do aplicativo da placa eletrônica Arduino (FIGURA 13) é realizada a configuração e programação deste. O aplicativo tem a função de apresentar as informações obtidas pelos sensores.

A aplicação é dividida em funcionalidades tais como, por exemplo, o Menu Principal (onde se pode realizar todas as funções da aplicação); a Barra de botões (barra facilitadora, que serve como atalho para o desenvolvedor encontrar determinados comandos); a Área de programação (espaço de desenvolvimento em si, é nele onde serão escritos os códigos a serem inseridos na placa eletrônica Arduino; Console do compilador (região de informações de mensagens, caso o programa seja gravado com sucesso ou dê algum tipo de erro, será exibida uma mensagem neste campo) e Barra de estado (informa qual foi a placa do Arduino utilizada no processo de gravação, bem como seu processador e portas seriais utilizadas).

Figura 13 - Ambiente de programação do aplicativo da placa eletrônica Arduino, e serial monitor.



```

Fluxmetro | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help
Fluxmetro
unsigned int pulsos=0; //Variável inteira que guarda a quantidade
//de pulsos de subida.
unsigned int aux; //Variável auxiliar.
int fluxometro = 2; // O fluxometro será conectado
//no pino 2 do arduino.

void ContaPulsos () //Função que é chamada toda vez que há
//flanco de subida dos pulsos, incrementando
//então na variável pulsos.
{
  pulsos++;
}

void setup() //Define a estrutura inicial.
{
  pinMode(fluxometro, INPUT); //Inicializa o pino 2, onde está o
//fluxometro, em modo de entrada.
  Serial.begin(9600); //Inicia a leitura na porta serial, com
//baud rate de 9600.
  attachInterrupt(0, ContaPulsos, RISING); //Função que verifica o flanco de
//subida dos pulsos gerados pelo
//encoder, chamando a função ContaPulsos.
}

void loop () //Define a estrutura de repetição.
{
  pulsos = 0; //Inicialmente os pulsos serão zero.
}
  
```

Fonte: Dados do autor (2017).

O *software* do Arduino inclui um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados à placa eletrônica Arduino e recebidos, caso haja necessidade de utilização deste recurso.

No ambiente de programação da placa eletrônica Arduino é necessário definir a porta de entrada dos sinais dos sensores e os valores iniciais das variáveis que serão utilizadas no sistema, bem como a taxa de transmissão de dados. Também é realizada a estrutura de SETUP, com a definição do modo de funcionamento da porta como entrada (INPUT) e início da transmissão serial com definição da taxa de transmissão de dados de 9600 bauds.

Os códigos de programação a serem utilizados na configuração do SISAADPC atribuem função aos pinos de saída dos sensores, seus sinais e os pinos de entrada na placa eletrônica Arduino. As equações de determinação dos parâmetros patinagem e consumo de combustível descritos no decorrer da metodologia também são inseridas no código de programação do aplicativo. As equações são inseridas em função da quantidade de pulsos que seriam obtidos por meio dos sensores.

Foi realizada uma interface de comunicação dos sensores em funcionamento de operação em aplicativo com sistemas operacionais *Android* por meio de módulo *bluetooth*, com a finalidade de apresentar informações em tempo real para o operador. Dessa forma, aparelhos portáteis de fácil transporte como, por exemplo, celulares, tablets, netbook, entre outros, podem ser utilizados como ferramenta para monitoramento das informações em tempo real. Por meio da plataforma MIT APP INVENTOR foi desenvolvida essa interface de comunicação dos sensores com Android de aparelhos portáteis.

O MIT APP INVENTOR, também conhecido como *App Inventor for Android*, é uma aplicação código aberto originalmente criada pela Google, e atualmente mantida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Ele permite que os recém-chegados à programação de computador criem aplicativos de *software* para o sistema operacional Android. Ele usa uma interface gráfica, muito semelhante ao do zero e da interface do usuário *StarLogo TNG*, que permite aos usuários arrastar e soltar objetos visuais para criar um aplicativo que pode ser executado em dispositivos *Android*.

Está ilustrada no Anexo a estrutura de blocos utilizada para configuração e desenvolvimento do aplicativo por meio da plataforma *MIT app inventor*.

3.1.9 Parâmetros de desempenho operacional avaliados

A seguir será apresentada a metodologia utilizada e equações utilizadas para determinação dos parâmetros patinagem dos rodados do trator e consumo horário de combustível utilizados nos trabalhos de campo.

3.1.9.1 Determinação da patinagem dos rodados do trator

Os *encoders* ou geradores de pulsos foram instalados nos rodados do trator (FIGURA 17), sendo seus eixos acoplados em suportes que interceptaram os centros dos raios dos rodados de forma a cada volta dada nas rodas motoras do trator gera 500 pulsos nos *encoders*.

A patinagem foi medida por meio do programa desenvolvido no aplicativo da placa de controle Arduino conforme o número de pulsos obtidos pelos *encoders* nas situações com carga e sem carga. A partir dos sinais dos *encoders* e com a TDA do trator sempre não acionada, o deslocamento realizado pelos rodados dianteiros foi considerado como referência de distância percorrida e de condição sem carga para cálculo de patinagem dos rodados.

Conforme configuração nas linguagens de programação do *software* do Arduino, em linguagem C++, a patinagem dos rodados motrizes foi determinada a partir da seguinte equação:

$$P = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100 \quad (1)$$

em que:

P = Patinagem dos rodados motrizes do trator em porcentagem;

N_2 = Número de pulsos na condição sem carga (rodados dianteiros) dentro da parcela durante o deslocamento do trator;

N_1 = Número de pulsos na condição com carga (rodados traseiros) dentro da parcela durante o deslocamento do trator.

3.1.9.2 Determinação do consumo volumétrico de combustível

Os pulsos gerados pelo fluxômetro foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1mL.pulso⁻¹.

O cálculo do consumo horário foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$Ch = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (2)$$

em que:

Ch = consumo horário (L h⁻¹);

Np = número de pulso do medidor de combustível;

T = tempo de percurso da parcela (s)
3,6 = unidade de conversão para L.h⁻¹

O consumo volumétrico foi obtido com a média das leituras a cada 5 segundos de funcionamento dentro das parcelas. As médias das leituras obtidas pelo fluxômetro foram mostradas em tela do aplicativo em tempo real. As leituras do fluxômetro foram obtidas e convertidas em L.h⁻¹.

Os pulsos gerados durante os ensaios foram enviados para a placa eletrônica Arduino onde foram convertidos em dados numéricos e posteriormente armazenados nas unidades desejadas dos parâmetros.

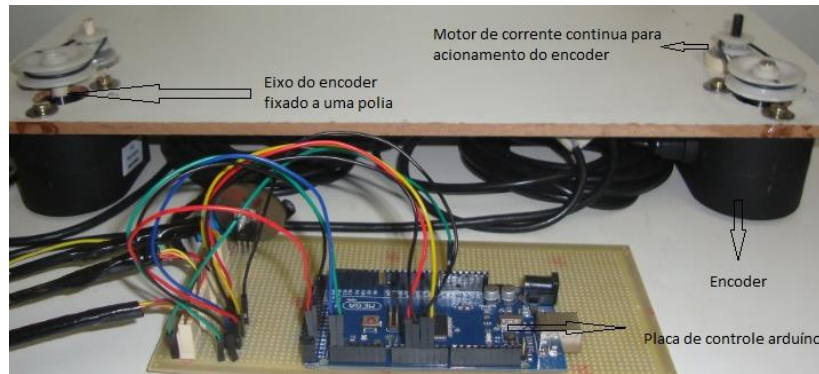
3.2 Calibração

Este item refere-se à etapa de calibração do sistema de aquisição (SISAADPC) e verificação dos sensores utilizados no projeto, em que, serão apresentadas bancadas de ensaio referentes aos *encoders* e fluxômetro de combustível.

3.2.1 Bancada de ensaio para os *encoders*

Conforme a Figura 14 foi preparada uma bancada para ensaio com *encoders*. O objetivo da bancada foi verificar o funcionamento dos *encoders*, certificando se o Arduino conseguiria trabalhar com pelo menos 2 interrupções dos *encoders* que atuariam na medição da velocidade dos pneus do trator. Simulou-se um caso mais próximo do real. Foram utilizadas correias de borracha para conexão das roldanas com motor de corrente contínua utilizado para movimentação do sistema, sendo cada lado da bancada com um *encoder* representando um eixo de um trator 4x2 (dianteiro e traseiro).

Figura 14 - Bancada de ensaio para testes com placa de controle Arduino e *encoders*.



Fonte: Dados do autor (2017)

A bancada foi montada com material de madeira, onde foram instalados os *encoders* e seus eixos foram fixados a uma polia de plástico. Para que seu funcionamento pudesse ocorrer, foram instalados para cada *encoder* um motor de corrente contínua acionado por fonte de energia de tensão regulável. Na parte inferior central a placa eletrônica Arduino foi posta próxima aos sensores interligados por cabos do tipo “*jumper*” próprios para montagem de prototipagem.

No ambiente de programação do aplicativo da placa de controle foram inseridas duas equações, (3) e (4), que determinam a distância percorrida por uma volta no eixo de cada *encoder* e que envolvem o raio da roda, e o número de pulsos obtidos por cada volta no eixo do *encoder*.

$$D_D = \frac{2\pi R_D N_D}{500} \quad (3)$$

$$D_T = \frac{2\pi R_T N_T}{500} \quad (4)$$

Em que:

D_D = Distância percorrida pela rodana menor;

D_T = Distância percorrida pela roldana maior;

R_D = raio menor da roldana;

R_T = raio maior da roldana;

500 = número máximo de pulsos do encoders

As equações para determinação da relação entre as distâncias percorridas pelas roldanas inseridas e configuradas no ambiente de programação do aplicativo da placa eletrônica Arduino de acordo com a equação 5 .

$$D = \frac{D_T - D_D}{D_T} \times 100, \quad (5)$$

Em que:

- D = Relação entre as distâncias percorridas entre as rodas, em porcentagem;
- D_T = Distância percorrida pela roldana maior;
- D_D = Distância percorrida pela roldana menor.

3.2.2 Bancada de ensaio para o fluxômetro de combustível

Foi preparada uma bancada de ensaio de madeira, conforme a Figura 15 com o objetivo de avaliar e aferir o fluxômetro durante passagem de óleo diesel pelo sistema. A bancada foi preparada com sensores de vazão de líquidos, filtros de metal (utilizados para filtragem de impurezas do óleo diesel), bomba de 12v para bombeamento do líquido (utilizada em para-brisas de automóveis), mangueiras de ½ polegadas e garrafa pet (utilizada para armazenamento do óleo a ser bombeado). A bancada foi montada com a finalidade de simular o funcionamento de um motor.

O objetivo de sua construção foi fazer o bombeamento do óleo à vazão constante para, também, aferir a quantidade de óleo contabilizado pelo sistema utilizando a placa eletrônica Arduino e conferência do volume consumido em proveta graduada. Utilizaram para a determinação do volume, uma proveta de medição com graduação, com capacidade de 1.000mL. Os dados provenientes do sensor foram coletados através da porta serial USB do computador, sendo apresentados em tela do ambiente de programação da placa eletrônica Arduino.

Figura 15 - Bancada de ensaio para testes com placa de controle Arduino e sensores de vazão de líquidos simulando funcionamento dos fluxômetros.



Fonte: Dados do autor (2017)

3.3 Validação de campo

Foi realizado ensaio de validação do SISAADPC realizado em campo utilizando trator agrícola em operação de tração em que se tracionou (arrastou) outro trator por meio de um cambão interligando-os.

Conforme ilustra a Figura 16, os ensaios foram realizados no Campus da Universidade Federal de Lavras, área destinada a aulas práticas e operações, compreendida entre as coordenadas 21° 16" S e 44° 92" W a 853 de altitude, conforme Figura 22. Nesta região o clima é classificado como Cwa, segundo Köppen-Geiger, temperado úmido com inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual, de 1529,7 mm, 19,4° e 76,2%, respectivamente (BRASIL, 1992).

Figura 16 - Fotografia tirada por meio do google Earth da área marcada com auxílio de receptor GPS marca Garmin.



Fonte: Dados do autor (2017)

O solo da unidade experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999) e suas frações granulométricas nas camadas de 0-20 cm retiradas na área foram areia, silte, argila e a densidade do solo, respectivamente, 27%, 20%, 53% e 1,2 g.cm⁻³.

Para os ensaios de avaliação e monitoramento de consumo horário de combustível e patinagem dos rodados foram utilizados dois tratores, conforme especificações dimensionais dos tratores agrícolas utilizados, apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações dos tratores agrícolas utilizados nos ensaios.

Trator de tração	Trator freio
Valtra	Agrale
Motor – 95 cv (69,8 kW) a 2200 rpm	Motor - 105 cv (77,2 kW) a 2.300 rpm
Modelo - A950	Modelo - BX 6110
Tração - 4X2 TDA	Tração - 4X2 TDA
Pneus traseiros - 18.4-34 R1	Pneus traseiros - 23.1-30 R1
Pneus dianteiros - 14.9-24 R1	Pneus dianteiros - 14.9-30 R1

Fonte: Agrale (2017) e Valtra (2017)

Durante todo o período de ensaio, o trator marca Valtra permaneceu com o bloqueio do diferencial acionado.

Durante todos os ensaios o trator modelo Valtra foi operado com as seguintes pressões de inflação em seus rodados:

- a) Rodados dianteiros: 18 psi;
- b) Rodados traseiros: 20 psi.

Além disso, a massa total do trator com todos os lastros metálicos e 75% de lastro com água foi de aproximadamente 46,6 kN.

A Figura 17 apresenta o comboio de tratores utilizados durante os ensaios.

Figura 17 - Direita - Trator da marca Valtra utilizado para tração. Esquerda - trator “freio” da marca Agrale sendo arrastado.



Fonte: Dados do autor (2017)

O trator da marca Valtra, que tracionou o trator freio, operou em 2A marcha low (2L) a 1850 RPM, referente à velocidade teórica de 2,9 km.h⁻¹.

No experimento foram utilizadas marchas no trator freio escalonando-as. As marchas utilizadas foram 2A, 4A, 4B, 3M, e suas respectivas velocidades teóricas de deslocamento (Quadro 2), com a máquina desligada e a TDA do trator de tração desacionada fazendo as operações em solo mobilizado (2 gradagens) e solo firme (plantio direto na palha).

Quadro 2 - Marchas utilizadas como tratamentos impostas ao trator de frenagem e suas respectivas velocidades teóricas e sistemas de preparo de solo analisados.

TRATAMENTOS	Velocidade teórica (km.h ⁻¹)
Marchas	
4A	9
2A	4,5
4B	3,5
3M	3,0

Fonte: Agrale (2017)

As pistas de solo sob sistema convencional (FIGURA 18) foram realizadas com roçada mecânica e grade pesada de discos.

Figura 18 - Sistema de preparo convencional do solo.



Fonte: Dados do autor (2017).

As pistas de solo sob plantio direto na palha (FIGURA 19) foram realizadas com roçada mecânica da braquiária formada, por meio de roçadora acoplada a trator agrícola.

Figura 19 - Sistema de plantio direto



Fonte: Dados do autor (2017).

Os resultados obtidos pelo SISAADPC foram avaliados e comparados com outros dois métodos tradicionais já utilizados em pesquisas e discutidos.

O Quadro 3 apresenta a descrição dos métodos utilizados para determinação da patinagem dos rodados motrizes do trator na comparação dos valores obtidos.

Quadro 3 - Descrição dos métodos utilizados para determinação da patinagem dos rodados motrizes do trator e na comparação dos valores obtidos.

Método	Descrição
1	SISAADPC
2	Relação entre o número de voltas dos rodados motrizes durante percurso de 30m nas condições com e sem carga (BALASTREIRE, 1987).
3	Relação entre o tempo de percurso na parcela dos rodados motrizes durante percurso de 30m nas condições com e sem carga (DEERE, 1998).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para comparação dos valores obtidos pelo SISAADPC, foram realizadas outras duas metodologias comumente utilizadas, sendo uma delas, nomeada de “Método 2”, como sendo a contagem do número de voltas completas nos rodados motrizes em parcela de 30 m de comprimento, tanto na condição com carga, quanto na condição sem carga.

A outra metodologia utilizada, nomeada de “Método 3 como sendo a relação entre os tempos de percurso, na condição com carga e na condição sem carga que o conjunto mecanizado levaria para percorrer a distância de 30 metros em cada parcela.

Os métodos e sistemas utilizados para determinar e comparar a patinagem dos rodados foram realizados de forma simultânea, sendo que para a determinação da patinagem em

ambos os métodos (Método 2 e 3) foi necessário realizar a operação na condição sem carga, isto é, o trator de tração ser desacoplado do trator freio para a realização das contagens do número de voltas no rodado e marcação do tempo decorrido, dentro das parcelas trabalhadas.

3.3.1 Instalação dos sensores

A seguir serão apresentados e descritos aspectos referentes à instalação e adaptação de cada um dos sensores (*encoders* e fluxômetro de combustível) no trator agrícola utilizado durante ensaio de validação de campo.

3.3.1.1 Encoders

Conforme a Figura 20, os *encoders* foram instalados e adaptados e fixados em barra metálica onde os eixos dos sensores coincidem com o centro do raio dos rodados do trator agrícola.

Figura 20 - Instalação dos *encoders* nos rodados do trator



Fonte: Dados do autor (2017).

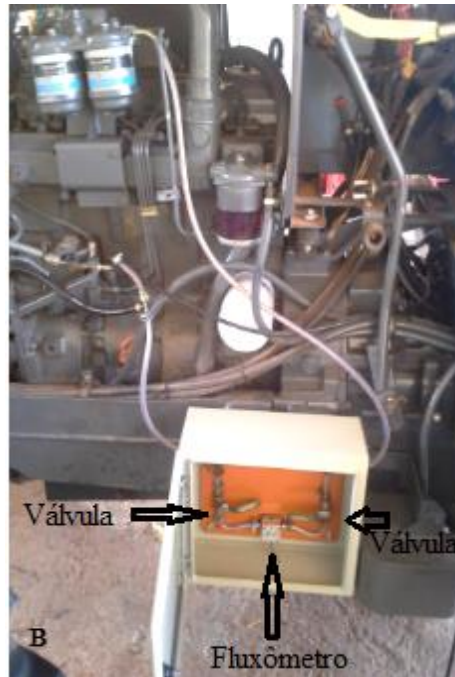
3.3.1.1.1 Fluxômetro de combustível

O fluxômetro instalado no motor do trator agrícola é do modelo M-III - FLOWMATE fabricado pela OVAL Corporation, modelo LFS45, vazão de 1 mL.pulso^{-1} (FIGURA 21). É alimentado por tensão contínua (12~24 V), $\pm 1\%$ de erro, faixa de temperatura de trabalho

entre -20 e 80°C e vazão permitida de 1 a $100\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. O princípio de funcionamento consiste em contabilizar a quantidade de volume de combustível por unidade de tempo.

Na Figura 21 observa-se o fluxômetro de combustível utilizado no trabalho e sua instalação deste no motor do trator.

Figura 21 - Fluxômetro de combustível utilizado em motor de trator para medição de consumo de óleo diesel instalado no motor do trator



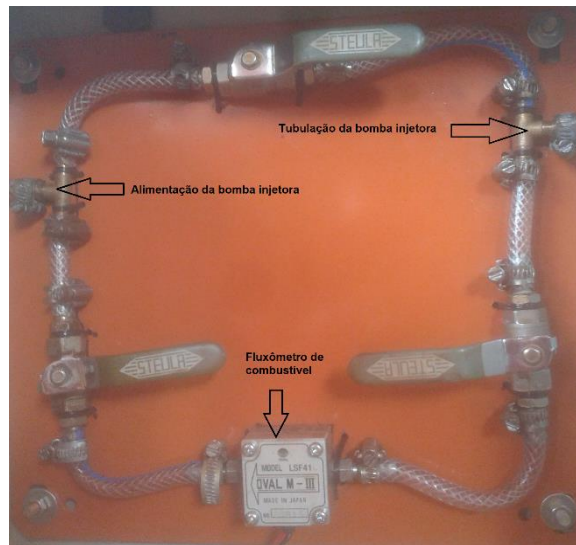
Fonte: Dados do autor (2017).

Conforme a Figura 21, o fluxômetro de combustível foi instalado na saída da bomba injetora depois de um dos filtros de combustível. O retorno do combustível oriundo da bomba injetora e dos bicos injetores não deve retornar aos tanques, sendo conduzido para ser novamente bombeado através de uma ligação realizada após o fluxômetro. Desta forma, o combustível é forçado a ser consumido, não passando novamente pelo medidor. Com essa modificação, a pressão interna do sistema de injeção aumenta e faz com que o combustível involuntariamente faça o caminho oposto em direção ao medidor de fluxo. O problema é solucionado colocando-se uma válvula anti-retorno e assim evitar o fluxo inverso.

Foi instalado um by pass, isto é, foram instaladas válvulas para isolamento do fluxômetro para evitar constante funcionamento deste durante operação agrícola em que não será realizada aquisição de dados de consumo de combustível.

A Figura 22 apresenta a fixação do fluxômetro no painel metálico para sua proteção contra impactos e intempéries.

Figura 22 - Esquema de instalação de fluxômetro de combustível em motor de trator agrícola



Fonte: Dados do autor (2017).

Após percorrer distância de aproximadamente 5 m, momento no qual se notava a estabilização, iniciou-se a coleta de dados através do uso do sistema eletrônico de aquisição e dos tempos de percurso e número de voltas dos rodados. Antes do início da coleta de dados, o trator iniciava seu movimento e depois de ocorrer a estabilização, ao entrar na parcela, marcava-se o tempo de início e saída, e o número de voltas nos rodados motrizes.

Para utilização do sistema embarcado e sensores nos rodados, foram usados apenas dois *encoders* de rotação, sendo um *encoder* no eixo do rodado dianteiro e outro no rodado traseiro, embora o sistema tenha sido desenvolvido para trabalho com os 4 sensores, cada um nos seus respectivos rodados do trator. O motivo da utilização de apenas dois *encoders* foi problemas mecânicos em um dos *encoders*. No entanto, com o uso de apenas dois foi possível validar a metodologia uma vez que os tratores percorreram trajetórias em linha reta. O uso de 4 *encoders* teria sido interessante, pois daria mais valores de patinagem dos rodados.

Os ensaios foram conduzidos em faixas de 30 m de comprimento e largura de 3,0 m, onde em cada faixa foi realizada a passada referente à marcha imposta ao trator que foi arrastado.

Conduziu-se o experimento seguindo o delineamento em blocos casualizados utilizando-se fatorial de 4x3x2 sendo 4 (quatro) marchas de frenagem (4A, 2A, 4B, 3M), 3 (três) blocos, 2 (dois) sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional) e 3 (três) repetições para cada bloco, totalizando 54 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância e, conforme o resultado significativo, as médias foram comparadas pelo teste

Tukey em nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas dos dados foram realizadas usando-se o programa computacional SISVAR, versão 5.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em sequência serão apresentados os resultados referentes ao desenvolvimento do sistema (SISAADPC), da calibração e da validação de campo.

4.1 Resultados do Desenvolvimento do Sistema

O Arduino se comunica com o aplicativo tendo o módulo Bluetooth como intermediário. A comunicação entre Arduino e módulo é do tipo serial onde são usados os pinos 0 (RX) e 1 (TX usados para receber (RX) e transmitir (TX) dados seriais TTL.

O VCC do módulo pode ser conectado no 3,3 V do Arduino. O RX do módulo será ligado no TX do Arduino e o TX do módulo no RX do Arduino.

Observa-se na Figura 23 a tela de aplicativo criado para fins de acompanhamento, monitoramento e armazenamento em tempo real das informações obtidas pelos sensores durante operações transmitidas via *bluetooth*.

Figura 23 - Tela de aplicativo sendo executado em *tablet* para monitoramento das informações



Fonte: Dados do autor (2017).

Quando o usuário apertar o botão “Conectar” do seu aplicativo, ele irá permitir que o aplicativo troque informações com o módulo. Ao clicar no botão Iniciar/Parar Salvar, o aplicativo irá enviar para o módulo *Bluetooth* um sinal que fará com que o Arduino envie os dados recebidos do sensor através da porta 0 do Arduino para o aplicativo, exibindo no aplicativo os resultados obtidos durante as operações.

Para acompanhamento das informações no aplicativo, foi necessário um código de programação e configuração a ser inserido e compilado no *software* da placa Arduíno para os sensores trabalhados, apresentados nos Anexos. Da forma programada no aplicativo, poderá observar os dados e informações da seguinte forma: “Patinagem (%)”, “Velocidade (km.h⁻¹)”, “Distância dianteira (m)”, “Distância traseira (m)”, Consumo (L.h⁻¹).

Em todos os códigos, foram atribuídas as funções de configuração para as equações de determinação dos parâmetros trabalhados.

No caso da patinagem dos rodados, conforme o código de programação, os diâmetros dos rodados dianteiros e traseiros foram inseridos, respectivamente, com os valores 1,18m e 1,56m, de acordo com sua medição real por meio de trena. Cada 500 pulsos obtidos pelos *encoders* equivalem a uma volta completa de seu próprio eixo, o que equivaleria a determinada volta nos rodados. A partir desses dados e da equação de determinação infomada no item “Materiais e métodos”, foi possível obter os valores da variável patinagem, em que relaciona o número de pulsos dos *encoders* em função da relação entre as distâncias percorridas pelos rodados traseiros e dianteiros, multiplicado por 100, para obtenção do valor final em %.

Já no caso do consumo horário de combustível, o código de programação inserido no aplicativo da placa está incluído e sua equação obtida a partir das informações do fluxômetro de combustível. Para cada 1 pulso obtido pelo fluxômetro significa que 1 mL foi consumido pelo motor do trator por unidade de tempo e a partir dessas informações foi determinado o consumo horário de combustível.

O consumo de combustível foi obtido por meio da equação descrita no item “Materiais e métodos”, mas inserido nos códigos de programação dos aplicativos da placa Arduíno sob a linguagem C++, em que relacione o número de pulsos do sensor e o tempo decorrido multiplicado pelo fator de conversão 3600 que converte mL.s⁻¹ em L.h⁻¹.

A Figura 24 apresenta alguns componentes do SISAADPC desenvolvido, necessários para a alimentação e controle do sistema, todos juntos em caixa de madeira para sua proteção contra trepidações, chuva, sol e intempéries.

Figura 24 - Vista Superior do painel eletrônico.

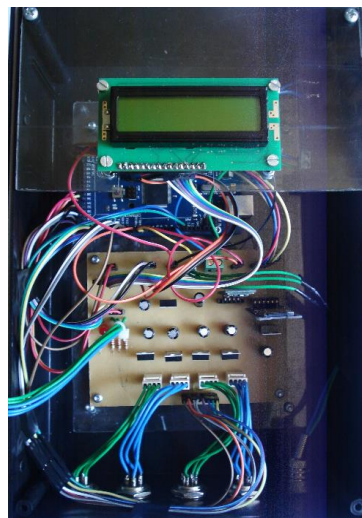


Fonte: Dados do autor (2017).

Na parte frontal do painel (A) está inserido um display do tipo LCD cuja função é informar valores do consumo de combustível. Além do display, estão inseridos na parte frontal 3 leds coloridos (amarelo, verde e vermelho), cuja função é informar ao observador níveis de patinação dos rodados (0-10%, 10-15%,+15%), com seus respectivos alertas de leds que serão ativados.

Observa-se, que em seu interior (FIGURA 25), situa-se placa de circuito impresso juntamente com seus componentes eletrônicos, módulo *bluetooth*, cartão de memória, placa de controle Arduino, reguladores de tensão, capacitores e o display LCD.

Figura 25 - Vista Interior do painel eletrônico.



Fonte: Dados do autor (2017).

Ainda no painel de controle, em Vista lateral (FIGURA 26), estão presentes os 4 conectores para os *encoders* e um conector para o fluxômetro de combustível, com suas respectivas informações a respeito das conexões.

Figura 26 - Vista Lateral do painel eletrônico.



Fonte: Dados do autor (2017).

Ainda no painel, sob a Vista Lateral Frontal (FIGURA 27) está presente uma tomada de liga e desliga, bem como, um conector que liga o sistema na bateria do trator de 12v.

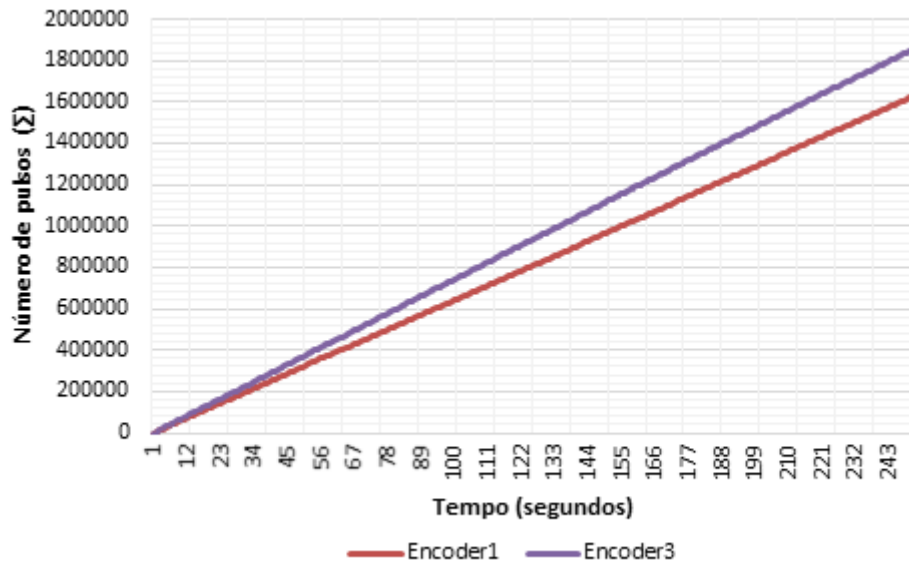
Figura 27 - Vista Lateral Frontal do Painel Eletrônico.



Fonte: Dados do autor (2017).

4.2 Resultados da calibração

No Gráfico 1, é observado o funcionamento dos *encoders*, com suas respectivas linhas de tendência e equações de regressão linear.

Gráfico 1 - Funcionamento dos *encoders* na obtenção de interrupções e pulsos coletados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

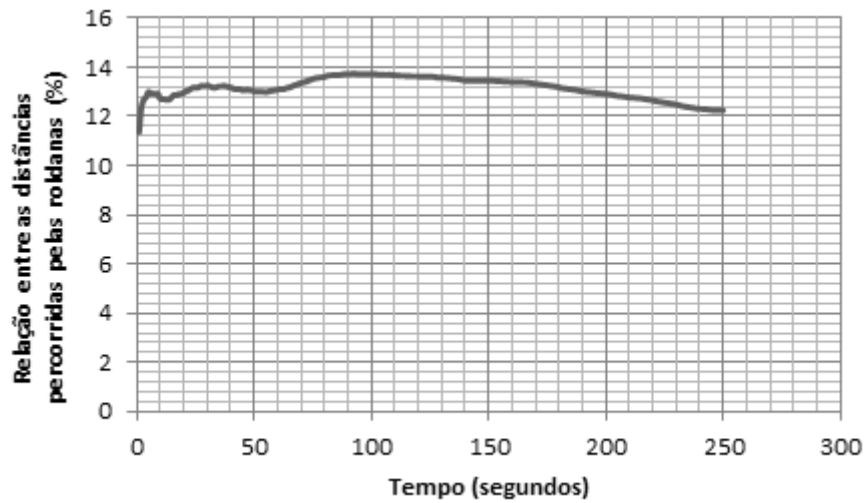
Conforme observa-se no Gráfico 1 os dois *encoders* estão funcionando simultaneamente. A reta mostra que os motores que giram os *encoders* fornecem velocidade constante. Nota-se a crescente contagem do número de pulsos obtidos pelos *encoders*, pois se tratam de *encoders* incrementais, sendo que para cada volta em seu eixo são incrementados 500 pulsos.

Observou-se também, que as retas geradas não estão sobrepostas, possivelmente pelo fato de as engrenagens que ligavam os motores de corrente contínua aos *encoders* serem de material emborrachado, e por causa disso ficaram mais esticadas do que deveria cada segundo de funcionamento dos motores.

Pelo fato de estas relações se assemelharem muito com um método da determinação do índice de patinagem dos rodados do trator, essas informações para configuração do sistema serão muito importantes para obtenção dos resultados instantâneos de patinagem.

No Gráfico 2 são observados os valores dos testes com os *encoders* para estimativa de patinagem.

Gráfico 2 - Gráfico com os valores dos testes com os *encoders* para estimativa de patinagem.

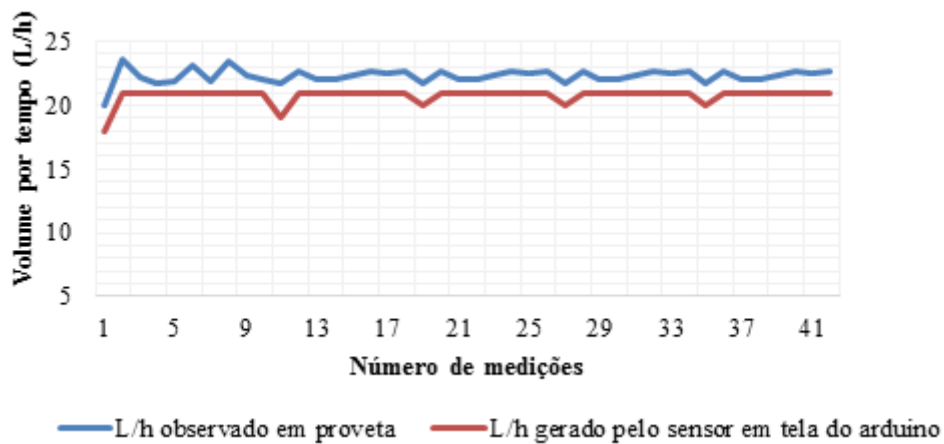


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Conforme apresentado no Gráfico 2, foram obtidos resultados bem próximos do que ocorre em operação no campo, utilizando a relação entre as instâncias percorridas pelas roldanas maiores e menores. As médias encontradas estiveram entre 11,9% e 13,7%. Os resultados obtidos permitiram que o código de programação para determinação do parâmetro patinagem estaria apropriado para ser inserido no processador da placa Arduino para aquisição dos dados durante os ensaios de campo.

No Gráfico 3, observa-se os valores contabilizados por meio de uma proveta graduada, em mL. O volume de óleo diesel por unidade de tempo ($L.h^{-1}$) após conversão de unidades, observando-se simultaneamente os resultados na tela do computador por meio do aplicativo da placa eletrônica Arduino, dentro do ambiente de programação.

Gráfico 3 - Resultado de volume de líquido por unidade de tempo registrado por sensor e confirmado em proveta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Os valores determinados por proveta graduada e os valores determinados pelo sensor de fluxo, apresentados no Gráfico 3, apresentaram-se bem próximos, mostrando a eficiência do dispositivo. Obtiveram-se resultados na proveta de $22,3 \text{ L.h}^{-1}$ bem próximos dos valores observados na tela do aplicativo da placa eletrônica Arduino de $20,8 \text{ L.h}^{-1}$. No entanto essa diferença de medição apresentada no gráfico entre os dados de fluxo de líquido obtidos por meio da proveta graduada e por meio do sensor de fluxo pode ter ocorrido por erros de observação, no momento da medição do próprio operador.

4.3 Validação de campo

De acordo com a metodologia apresentada os ensaios de patinagem dos rodados e os resultados das análises dos testes de médias foram apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 a seguir.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da Análise de Variância para a variável patinagem dos rodados em relação ao sistema de preparo do solo, marcha imposta ao trator freio, método de determinação de patinagem dos rodados e as respectivas interações entre cada um desses tratamentos.

Tabela 1 - Resultados da análise de variância pelo teste F para os valores da patinagem dos rodados motrizes do trator sendo influenciados pelos tratamentos com o sistema de plantio direto e sistema de preparo convencional do solo.

FV	Graus de liberdade	Quadrado Médio
Sistema	1	60.7431**
Marcha	3	181.342 ^{ns}
Método	2	11.3035 ^{ns}
Blocos	2	9.1984 ^{ns}
Repetição	2	25.3205
Sistema*Marcha	3	5.5184 ^{ns}
Sistema*Método	2	0.7286 ^{ns}
Marcha*Método	6	8.5793**
Sistema*Marcha*Método	6	3.5168 ^{ns}
Erro	185	2.9023
C.V (%)	21.68	
Média geral:	7.859	

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

**Teste F de médias significativo. ^{ns} teste F de médias não significativo.

Quanto ao resultado da influência do Método de patinagem, este não influenciou em seu valor, justificando, assim certa confiabilidade dos dados obtidos pelo método proposto pelo sistema embarcado podendo ser utilizado nas situações de trabalho.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise de variância pelo teste Tukey para a patinagem do rodado sendo influenciada pelo tratamento sistemas de preparo do solo.

Tabela 2 - Resultado de patinagem dos rodados pelo teste Tukey para o tratamento sistema de preparo do solo influenciando na patinagem dos rodados.

Sistemas de preparo	Médias de patinagem
Direto	6.67 a
Convencional	8.10 b
C.V. (%)	21,68

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Médias seguidas por numerações diferentes representam resultados significativos em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Conforme se observa na Tabela 2, a média de patinagem apresentou resultado significativo e sofreu influência conforme o tipo de sistema estudado. Conforme o esperado,

as médias de patinagem sofreram aumento quando trabalhadas no sistema convencional de preparo do solo, que foi de 8,1% enquanto no sistema de plantio direto foi de 6,67%.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das médias obtidas do parâmetro patinagem dos rodados do trator na interação entre os métodos avaliados nas marchas impostas no trator freio.

Tabela 3 - Resultado das médias obtidas do parâmetro patinagem dos rodados do trator na interação entre os métodos avaliados nas marchas impostas no trator freio.

Método	Marcha			
	4A	2A	4B	3M
1	6.80 aA	6.32 aA	8.94 aB	11.19 aC
2	6.46 aA	5.52 aA	8.39 aB	10.21 aC
3	6.13 aA	6.96 bA	8.76 aB	8.76 bB

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Em cada linha, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas e, em cada coluna, médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme a Tabela 3, avaliando as linhas, que se referem aos métodos estudados, observou-se tanto no método 1, como no 2 e no 3, que não houve diferença significativa dos valores da patinagem nas marchas trabalhadas 4A e 4B. Com as mudanças da 4A para a marcha 2A e 4B para a 3M, ocorreu diferença significativa apenas nos métodos 2 e 3. Essa diferença entre os métodos 2 e 3 estudados ocorreu possivelmente por erros de marcação do número de voltas nos rodados.

Em todos os métodos estudados, as marchas 4A e 2A corresponderam aos menores valores de patinagem, enquanto nas marchas 4B e 3M, que corresponderam às duas marchas mais fortes, os valores corresponderam aos maiores valores de patinagem, conforme o esperado. Quanto mais forte for a marcha de frenagem imposta ao trator que está sendo arrastado, espera-se que maior será a patinagem dos rodados do trator que arrasta, por conta da necessidade de maior força de tração e, conseqüentemente, mais propício a ter maior patinagem dos seus rodados.

Na marcha 2A, 4A e 4B os métodos não foram diferentes significativamente. Já na marcha 3M, os valores da patinagem obtidos pelo método 1 que foi de 11,19% mostraram que não houve diferença significativa em relação aos valores obtidos pelo método 2 que foi de 10,21%. Ambos os métodos 1 e 2 foram diferentes significativamente em relação aos valores

obtidos pelo método 3 que foi de 8,76%, possivelmente devido a um fenômeno conhecido como “galope” conforme Rackham e Blight (1985).

Em estudos realizados com avanço cinemático e relação entre os dois eixos do trator, Schlosser, Márquez e Linares (2001) associam alguns dados erráticos como resultado de efeito chamado “galope” ou vibrações em que o trator oscila e salta, conforme afirma Rackham e Blight (1985), que explicam que o “galope” é definido como a interferência entre duas rodas de diferentes diâmetros conectadas a uma mesma fonte de transmissão de potência e obrigadas a girar com a mesma velocidade mantendo contato com a superfície do terreno. Schlosser, Márquez e Linares (2001) ainda recomendaram, para tentar minimizar possíveis erros ocasionados pelo fenômeno “galope”, evitar a utilização de altas cargas na barra de tração, combinadas com elevadas pressões internas nos rodados dianteiros.

Embora não significativo, observou-se que, em todas as marchas, os valores apresentados pelo Método 1 foram maiores em relação ao Método 2 e Método 3, e tiveram relação entre um método e outro que variou entre 0,87 e 0,93. Essa diferença possivelmente pode ser explicada também pela citada anteriormente que trata sobre relação entre avanço das rodas e galope do trator. Conforme Linares, Catalán e Méndez (2006), o avanço é o quociente da velocidade de avanço da roda dianteira em relação à traseira e que é capaz de expressar o adiantamento (ou o atraso) da roda dianteira em relação à traseira e que os valores do avanço podem variar entre 1 e 5%, desde que a patinação dos rodados não ultrapasse 20%. Schlosser, Márquez e Linares (2001), em estudo realizado com avanço cinemático, atribuíram as variações de avanço aos diferentes raios estáticos obtidos com a variação da pressão interna dos pneus. Sendo assim, embora não tenha sido determinado este parâmetro, possivelmente essa diferença nos valores obtidos possa ter ocorrido devido ao avanço das rodas e possa ser minimizada alterando as pressões de inflação dos pneus ou os raios estáticos destes.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises de desempenho do trator para a variável patinação dos rodados do trator e consumo volumétrico de combustível sendo influenciada pelo sistema de preparo do solo.

Tabela 4 - Resultados de patinagem dos rodados e consumo de combustível no sistema de plantio direto e sistema de preparo convencional do solo

Sistema	Variáveis	
	Patinagem (%)	Consumo horário de combustível (L.h ⁻¹)
Direto	8,07 a	7,37 a
Convencional	9,01 b	7,84 b
C.V. (%)	10,42	5,27

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Médias seguidas por letras com numerações diferentes representam resultados significativos em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Médias seguidas por letras com numerações iguais representam resultados não significativos a 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 4 que tanto para os valores das médias de patinagem dos rodados quanto para o consumo horário de combustível foram significativos ao comparar os valores obtidos no sistema de plantio direto e no sistema convencional. No caso da patinagem dos rodados, no solo sob plantio direto (firme), a média dos valores foi de 8,07%, enquanto para o solo sob sistema convencional a média foi de 9,01%. Schlosser, Linares e Márquez (2004) em trabalho semelhante com dois tratores John Deere avaliando avanços cinemáticos dos rodados, embora com a TDA acionada obtiveram os menores índices de patinagem de (11%) em solo firme, enquanto no solo preparado obtiveram resultado de 14%.

Em se tratando do consumo horário de combustível, este foi influenciado pelo sistema de preparo do solo, em que seu aumento foi, assim como nos valores da patinagem dos rodados, maior no sistema convencional (7,84 L.h⁻¹) em relação ao sistema de plantio direto (7,37 L.h⁻¹). Esta diferença significativa ocorreu possivelmente pelo fato de o solo sob sistema convencional estar preparado e mobilizado, o que exige mais força e tração do trator, e conseqüentemente seu consumo de combustível aumenta.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises de desempenho do trator para as variáveis patinagem dos rodados do trator e consumo horário de combustível sendo influenciadas pelas marchas de frenagem utilizadas no trator que estava sendo arrastado (marca Agrale).

Tabela 5 - Resultados de patinagem dos rodados e consumo de combustível sendo influenciados pelas marchas utilizadas no trator de frenagem.

Marcha	Variáveis	
	Patinagem (%)	Consumo horário de combustível (L.h ⁻¹)
2A	6,46 a	7,43 a
4A	6,83 a	7,37 a
4B	9,31 b	7,73 a
3M	11,57 c	7,87 a
C.V.	9,71	9,71

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Médias seguidas por letras com numerações diferentes na coluna representam resultados significativos em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, houve diferença significativa apenas com relação à patinagem dos rodados, quando ocorreu a mudança da marcha de trabalho de 4B no trator freio para a marcha 3M, onde, respectivamente os valores foram de 9,3% e 11,5%. Fato esse esperado, pois quanto mais “forte” for a marcha do trator freio, maior será a carga imposta para ser tracionada, então a tendência é que ocorra maior índice de patinagem dos rodados. Os resultados não foram significativos quando houve a mudança da marcha 2ª para a marcha 4ª no trator freio.

Não houve diferença significativa da marcha imposta no trator freio no consumo horário de combustível, em que foram observados valores que compreenderam entre 7,3 L.h⁻¹ e 7,8 L.h⁻¹. O consumo de combustível tende a variar conforme a variação da rotação do motor do trator, sendo assim, possivelmente não houve diferença por esse motivo. Os resultados ficaram próximos aos encontrados por Alonso (2016), em ensaios semelhantes com o mesmo conjunto mecanizado, mas utilizando pressões e lastros diferentes no trator freio e, ainda, com solo preparado com uma aração e duas gradagens e na capacidade de campo, em que observou valores de consumo volumétrico de combustível ficando na faixa de 9 a 12 L.h⁻¹.

Lembrando que foram utilizados sensores da própria instituição, sem precisar adquirir outros no mercado até mesmo com preços mais baixos e também não incluídos serviços terceirizados e mão-de-obra, caso houvesse. O custo final do projeto foi de R\$ 3.400,00 conforme as discriminações e seus valores de componentes eletrônicos utilizados para sua elaboração e montagem a seguir: Placa eletrônica Arduino (R\$120,00); Componentes eletrônicos (R\$500,00); Fluxômetro de combustível (R\$1.500,00); *Encoders* (R\$1.200,00); Módulo Bluetooth (R\$50,00) e Adaptador Micro SD card (R\$30,00).

5 CONCLUSÕES

Concluiu-se que o SISAADPC foi desenvolvido com sucesso e pôde ser utilizado nos ensaios de campo.

O SISAADPC é considerado confiável, teve facilidade e rapidez na operação de aquisição de dados, é de baixo custo, acessível ao pequeno e médio produtor e não necessitou de qualquer interferência humana na aquisição, armazenamento e controle dos dados.

O SISAADPC foi configurado e projetado para realização de trabalhos que exigem tratores agrícolas 4x2, sem haver a necessidade de utilização da tração dianteira auxiliar.

Nas condições do presente trabalho, para obtenção dos menores índices de patinação dos rodados, recomenda-se utilizar as marchas de frenagem 4A e 2A e, para a obtenção do menor valor do consumo de combustível, recomenda-se executar a operação no sistema de plantio direto do solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SISAADPC permite a utilização de sua estrutura física, lógica e programável para posterior aprimoramento e adição de diversas outras equações que resultariam em mais valores de desempenho e também na inclusão de mais sensores para realização de mais parâmetros de desempenho.

O SISAADPC é destinado à prototipagem. Uma vez que o sistema entrar em produção em grande escala, a placa eletrônica Arduino provavelmente não será mais utilizada.

As principais metodologias até então utilizadas para determinação da patinagem requerem utilização de rodas odométricas como sistema de referência para a condição sem carga. Porém, no SISAADPC os rodados dianteiros foram utilizados como sistema de odometria e condição sem carga, assim, não necessitando da tração dianteira auxiliar (TDA). Assim, não foi necessário realizar parada do trabalho para realização da condição sem carga, ou seja, com o trator de frenagem desacoplado. Os resultados mostraram que a abordagem proposta é confiável.

Com relação aos *encoders* para determinação de patinagem dos rodados, do ponto de vista de configuração e automação destes na placa de controle Arduino, não houve problema no manuseio dos mesmos. A programação destes foi correta com relação à metodologia de determinação da patinagem dos rodados. No entanto, este tipo de sensor está exposto às condições adversas, como exemplo, os seus riscos com trepidações, exposição a chuvas, poeira, pedras, entre outros. Uma solução para isso é a utilização de outros tipos de equipamentos (como, por exemplo, sensores capacitivos para metais acoplados para detectar dentes de catraca de bicicleta) e também de custo reduzido.

Sugere-se como trabalhos futuros, para obtenção de maior confiabilidade/validação e aprimoramento, a comparação entre mais métodos como o método tradicional (medindo o número de voltas nas rodas motrizes), o método utilizado com a plataforma Arduino, o método de determinação de patinagem em função da velocidade de deslocamento do trator e velocidade das rodas motrizes utilizando-se um GPS e IMU - *Inertial Measurement Unit* que pode ser composto por acelerômetro, giroscópio (filtro de Kalman), mudando-se mais condições da pista e do maquinário, condições estas como, pista firme e mobilizada, pista seca e úmida, maquinário com todos os lastros disponíveis e sem qualquer lastro, outras operações agrícolas, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AGRALE. **Trator Agrale BX 6110**. Disponível em: <<http://www.agrale.com.br/pt/tratores-6000/trator-agrale-bx-6110-1>>. Acesso em: 1 mar. 2017.
- AL KALBANI, J. et al. Bus detection system for blind people using RFID. In: IEEE GCC CONFERENCE AND EXHIBITION (GCCCE), 2015, Muscat. **Proceedings...** Muscat: IEEE, 2015. p. 1-6.
- ALMEIDA, R. A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 7, p. 63-70, 2010.
- ALONSO, D. J. C. **Influência da lastragem e pressão de inflação do pneu de um trator agrícola no seu desempenho operacional trabalhando em solo na capacidade de campo**. 2016. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management ASAE EP496.2. In: _____. **ASAE standards 1997: standards engineering practices data**. 44th ed. Saint Joseph, 1997a. p. 366-372.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code SAE J708. In: _____. **ASAE standards 1997: standards engineering practices data**. 44th ed. Saint Joseph, 1997b. p. 407-411.
- ARDUINO. **Arduino home page**. Disponível em: <<http://www.Arduino.cc>>. Acesso em: 3 dez. 2013.
- ATMEL CORPORATION. **Atmel completes newport media acquisition-acquisition expands atmel's wireless portfolio to include Wi-Fi 802.11n and bluetooth**. Disponível em: <<http://ir.atmel.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=863564>>. Acesso em: 23 ago. 2014.
- AUERNHAMMER, H. Off-road automation technology in European agriculture: state for the art and expected trends. In: ASAE INTERNATIONAL CONFERENCE, 2004, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: ASAE, 2004. p. 10-23.
- AUERNHAMMER, H.; SPECKMAN, H. Dedicated communications systems and standards for agricultural applications. **Handbook of Agricultural Engineering**, Michigan, v. 7, p. 435-452, 2006.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.
- BOLTON, W. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2010. 651 p.
- BRASIL. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, DF: MARA/SNI/INMET, 1992. 84 p.

CAMPOS, F. H. **Desenvolvimento de um programa computacional destinado à unidade móvel de ensaio na barra de tração (UMEB) para a avaliação do desempenho de tratores**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

CASTRO, R. M. et al. Desenvolvimento do sistema de aquisição e supervisão de dados para um tribômetro rotativo do tipo pino sobre disco. **Revista Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 18, n. 32, p. 1-8, 2015.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 4503-1-4503-9, 2011.

CORDEIRO, M. A. L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

COX, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 36, n. 2/3, p. 93-111, 2002.

DEERE, J. **Guia para instalação de lastro e pressão de inflação de pneus**. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1998. Disponível em:
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/LASTRO-CQ41964.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FONTES, I. R. **Desenvolvimento e aplicação da instrumentação virtual na unidade móvel de ensaios na barra de tração - UMEB**. 2011. 57 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

FORTIN, M. C.; PIERCE, F. J. Toward an agriculture information system to maximize value in agriculture data. In: WOLF, S. A. (Ed.). **Privatization of information and agriculture industrialization**. Boca Raton: Wolf, 1998. p. 95-104.

FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FRIEDRICH, L. F. A survey on operating system support for embedded systems properties. In: WORKSHOP DE SISTEMAS OPERACIONAIS (WSO2009), 6., 2009, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2009. 1 CD-ROM.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

GABRIEL FILHO, A. et al. Influência da altura das garras dos pneus de um trator em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 10, p. 1123-1128, 2010.

GARCIA, R. F. **Simulação do comportamento dinâmico de uma colhedora de feijão**. 2002. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

GARCIA, R. F.; CAVALCANTI, R.; MANHÃES, C. M. C. Avaliação de um sensor de fluxo utilizando placa microcontroladora Arduino. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 162-168, 2015.

GOERING, C. E. et al. Tractions and transport devices. In: _____. **Off-Road vehicle engineering principles**. Saint Joseph: ASAE, 2003. p. 351-382.

HERZOG, R. L. S. et al. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. 1 CD-ROM.

HOROWITZ, P.; HILL, W. **The art of electronics**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 622 p.

JESUÍNO, P. R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

JOHNSON, G. W. **LabVIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control**. New York: McGraw-Hill, 1997. 665 p.

JUNCO, D. F. G. et al. Agrometeorological monitoring station based microcontroller and Bluetooth communication. In: COLOMBIAN CONFERENCE ON AUTOMATIC CONTROL (CCAC), 2015, Manizales. **Proceedings...** Manizales: IEEE, 2015. p. 1-5.

KAMOGAWA, M. Y.; MIRANDA, J. C. Uso de hardware de código fonte aberto “Arduino” para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1232-1235, 2013.

KILIAN, C. **Modern control technology: components & systems**. 2nd ed. Portsmouth: Delmar Thomson Learning, 2004. 608 p.

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores: guia para a seleção correta da pressão de inflação**. Botucatu: FCA/UNESP, 1997. 33 p. (Boletim Técnico, 1).

LI, Q. **Real Time concepts for Embedded Systems**. San Francisco: CMPBooks, 2003. 294 p.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de latracción de tractores agrícolas**. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 2006. 215 p.

LOPES, A. et al. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência na distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

MARCHETTI, I. **Sistema automatizado para avaliação do consumo de biodiesel em tratores agrícolas**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor '90**. Madrid: Laboreo, 1990. 231 p.

MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: tecnologías y utilización**. Madrid: B&h, 2012. 844 p.

MASIERO, F. C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA)**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2010.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011. 453 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1996. 722 p.

MONTANHA, G. K. et al. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 44-59, 2012.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD - CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kw em pista concreto e solo agrícola**. 2011. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2011.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 68-84, 2009.

NOERGAARD, T. **Embedded system architecture: a comprehensive guide for engineers and programmers.** Oxford: Elsevier, 2005. 672 p.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **CODE 2:** standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. Paris, 2012. 91 p.

PALMA, M. A. Z. **Efeito da profundidade de hastes sulcadoras na patinagem, força de tração e consumo de combustível de um trator agrícola.** 2010. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PEREIRA, J. P. G. Balanço energético na implantação da cultura do milho. In: CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 1998, La Plata. **Anais...** La Plata: Universidad Nacional La Plata, 1998. 1 CD-ROM.

RACKHAM, D. H.; BLIGHT, D. P. Four-wheel drive tractors: a review. **Journal Agricultural Engineering Research**, Bedford, v. 2, p. 185-201, 1985.

RIBEIRO, G. **Intel, Dell e Samsung se unem para padronizar a 'Internet das coisas'.** 2014. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/07/intel-dell-e-samsung-se-unem-para-padronizar-internet-das-coisas-entenda.html>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica.** São Paulo: Prentice Hall, 2005. 368 p.

RUSSINI, A. **Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico.** 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas.** 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SANTOS, A. B. **Sistema embarcado para determinação remota de índices de conforto térmico.** 2013. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SANTOS, F. L.; FERNANDES, H. C.; RINALDI, P. C. Desenvolvimento de uma planilha eletrônica para a determinação da Potência disponível na barra de tração de tratores agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 122-130, 2006.

SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; MÁRQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas 1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1801-1805, 2004.

SCHLOSSER, J. F.; MÁRQUEZ, L.; LINARES, P. Desenvolvimento de metodologia para previsão do fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos de um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 985-989, 2001.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 1021-1027, jul. 2007.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. Construção de sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 10-18, 1997.

SPAGNOLO, R. T. **Desempenho operacional de um trator agrícola em função da lastragem, pressão de insulflagem e vida útil do pneu**. 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

STALLINGS, W. **Operating systems: internals and design principles**. Boston: Prentice Hall, 2008. 800 p.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 4, p. 439-446, 1998.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 224 p.

TIMMIS, H. **Practical Arduino Engineering**. New York: Apress Academic, 2011. 328 p.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

VALE, W. G. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e semeadura**. 2011. 2017 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)-Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

VALE, W. G. et al. Desempenho de conjunto trator e semeadora-adubadora na semeadura direta de *Crotalaria juncea*. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 2, p. 78-86, 2010.

VALTRA. **Linha leve A950**. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

VIEIRA, E. P.; BRIZOLLA, M. M. **A influência da mecanização da atividade agrícola na composição do custo de produção**. Disponível em: <http://www.furb.br/congressocont/_files/CCG%20152.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2009.

WANG, C.; GEORGE, D.; GREEN, P. R. Development of plough-able RFID sensor network systems for precision agriculture. In: IEEE TOPICAL CONFERENCE ON WIRELESS SENSORS AND SENSOR NETWORKS (WISNET), 2014, Newport Beach. **Proceedings...** Newport Beach: IEEE, 2014. p. 64-66.

WERNECK, M. M. Transdutores de velocidade. In: _____. **Transdutores e interfaces**. Rio de Janeiro: LTC, 1996. p. 119-134.

ANEXO A - CÓDIGO FONTE DO SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DA PATINAGEM E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

```

/* Programa: Monitoramento de patinagem.
   Autor: Diego Andrade, Fabio
*/

//////// Bibliotecas //////////

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal.h>

//////// Variaveis auxiliares //////////

int x = 0;
double tCalculoConsumo = 0;

///// Pinos e variaveis LEDs //////////
int LEDverde = 34;
int LEDamarelo = 35;
int LEDvermelho = 36;

/// Pinos e variaveis Display LCD ///

int rs = 30;
int enable = 32;
int d4 = 22;
int d5 = 24;
int d6 = 26;
int d7 = 28;
LiquidCrystal lcd(rs, enable, d4, d5, d6, d7);

/// Pinos e variaveis consumo ///

//pinos
int pinoFluxometro = 3; // O fluxometro será
conectado no pino 3 do arduino.
//variaveis
volatile int pulsosFlux = 0; //quantidade de
pulsos
int totalPulsos;
double tempoConsumo = 0; //tempo decorrido
desde o ultimo calculo de consumo
double consumo = 0; //armazena ultimo
calculo consumo em L/h

/// Pinos e variaveis patinagem ///

typedef struct {
  int pinoInterrupcaoA;
  int pinoB;
  long int posNova;
  long int posAntiga;
  volatile long int posAtual;
  double tempoNovo;
  double tempoAntigo;
  double vRot;
  double diametro;
  double distanciaTotal;
  double distanciaAntiga;
  double deltaDistancia;
} Tencoder;

Tencoder enc[4];
double patEsq, patDir;
String patinagem = "";

double velocidadeLinearD;
double velocidadeLinearE;

/// Pinos e variaveis Cartão SD ///
const int chipSelect = 53; // Chip Select
const int led_sd_ok = 10; // Sinaliza cartão SD
inicializado corretamente -----
Verificar pino
const int led_sd_erro = 11; // Sinaliza falha na
inicialização do cartão SD -----
Verificar pino
File dataFile = SD.open("dados.csv",
FILE_WRITE);

////////// Funcao LEDs ////////////

void LEDs(){
  if (patDir < 10 && patEsq < 10) {
    digitalWrite(LEDverde, HIGH);
    digitalWrite(LEDamarelo, LOW);
    digitalWrite(LEDvermelho, LOW);
  }
  else if (patDir < 15 && patEsq < 15) {
    digitalWrite(LEDverde, LOW);
    digitalWrite(LEDamarelo, HIGH);
    digitalWrite(LEDvermelho, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(LEDverde, LOW);
    digitalWrite(LEDamarelo, LOW);
    digitalWrite(LEDvermelho, HIGH);
  }
}

```



```

//////// Funcao LCD //////////
void LCD() {
  lcd.clear();
  //Titulos
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Vel");
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("Con");
  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print("PE");
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print("PD");
  //Valores
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(velocidadeLinearD);
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print(consumo);
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print(patEsq);
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print(patDir);
}

//////// Funcoes Consumo //////////

void calcConsumo () {
  double tempoDecorrido;
  tempoDecorrido = millis() - tempoConsumo;
  consumo = ((pulsosFlux/tempoDecorrido) *
3600.0); // converte mL/s para L/h
  totalPulsos += pulsosFlux;
  pulsosFlux = 0;
  tempoConsumo = millis();
}

void contaFlux()
{
  //incrementa numero de pulsos do fluxometro
a cada interrupcao;
  pulsosFlux++;
}

//////// Funcoes Patinagem //////////

void imprimir() {

  String dataString = ""; // String para compor a
msg a ser gravada no cartão SD
  String dataBt = ""; // String para compor a
msg a ser enviada para o Bluetooth

  dataBt = patEsq;
  dataString = patEsq;

  dataBt += ",";

  dataString += ",";

  dataBt += patDir;
  dataString += patDir;

  dataBt += ",";
  dataString += ",";

  dataBt += velocidadeLinearD;
  dataString += velocidadeLinearD;
  for (int i = 1; i < 4; i = i + 2) { //exibir
distancia

    dataBt += ",";
    dataString += ",";

    dataBt += enc[i].distanciaTotal, 2;
    dataString += enc[i].distanciaTotal, 2;
  }
  for (int i = 1; i < 4; i = i + 2) { //exibir pulsos
    dataString += ",";
    dataString += enc[i].posNova, DEC;
  }

  dataBt += ",";
  dataString += ",";

  dataBt += consumo;
  dataString += consumo;

  Serial.println(dataBt);
  // ----- Salvando no cartão
  File dataFile = SD.open("dados.csv",
FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
  }
  else {
    digitalWrite(led_sd_erro, HIGH);
    digitalWrite(led_sd_ok, LOW);
  }
  // ----- Fim Salvando no cartão
}

// funcao para calcular velocidade linear do
trator
void velocidade() {

  velocidadeLinearE = enc[0].vRot *
(enc[0].diametro / 2.0);
  velocidadeLinearD = enc[1].vRot *
(enc[1].diametro / 2.0);
}

```

```
//Atualiza valores das variaveis do Tencoder
void atualizaDados() {
```

```
    for (byte i = 0; i < 4; i++) {
        enc[i].posNova = enc[i].posAtual;
        enc[i].tempoNovo = millis();

        enc[i].vRot = ((enc[i].posNova -
enc[i].posAntiga) / 500.0) /
((enc[i].tempoNovo - enc[i].tempoAntigo) /
1000.0);
        enc[i].posAntiga = enc[i].posNova;
        enc[i].tempoAntigo = enc[i].tempoNovo;

        enc[i].distanciaTotal = PI * enc[i].diametro
* enc[i].posAtual / 500.0;
        enc[i].deltaDistancia = (enc[i].distanciaTotal
- enc[i].distanciaAntiga);
        enc[i].distanciaAntiga =
enc[i].distanciaTotal;
    }

    velocidade();
}
```

```
void calcPatinagem() {
```

```
    if (enc[2].deltaDistancia > 0) {
        patEsq = 100.0 * (enc[2].deltaDistancia -
enc[0].deltaDistancia) / enc[2].deltaDistancia;
    }
    else {
        patEsq = 0;
    }
}
```

```
    if (enc[3].deltaDistancia > 0) {
        patDir = 100.0 * (enc[3].deltaDistancia -
enc[1].deltaDistancia) / enc[3].deltaDistancia;
    }
    else {
        patDir = 0;
    }
}
```

//Função contaEncoder'N' - atualiza a posição atual do encoder, de acordo com o sentido de rotação.

```
void ContaEncoder0() { //Esquerda frontal
// enc[0].posAtual++;
if (digitalRead(enc[0].pinoInterrupcaoA) !=
digitalRead(enc[0].pinoB)) {
    enc[0].posAtual++; //horario (para frente)
```

```
    }
else {
    enc[0].posAtual--; //anti-horario (para tras)
}
}
```

```
void ContaEncoder1() { //direita frontal
// enc[1].posAtual++;
if (digitalRead(enc[1].pinoInterrupcaoA) ==
digitalRead(enc[1].pinoB)) {
    enc[1].posAtual++; //anti-horario (para
frente)
}
else {
    enc[1].posAtual--; // horario (para tras)
}
}
```

```
void ContaEncoder2() { //esquerda traseiro
// enc[2].posAtual++;
if (digitalRead(enc[2].pinoInterrupcaoA) !=
digitalRead(enc[2].pinoB)) {
    enc[2].posAtual++; //horario (para frente)
}
else {
    enc[2].posAtual--; //anti-horario (para tras)
}
}
```

```
void ContaEncoder3() { //direita traseiro
//enc[3].posAtual++;
if (digitalRead(enc[3].pinoInterrupcaoA) ==
digitalRead(enc[3].pinoB)) {
    enc[3].posAtual++; //anti-horario (para
frente)
}
else {
    enc[3].posAtual--; //horario (para tras)
}
}
```

// ----- FUNÇÃO SETUP -----

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin (9600);
```

```
////////// Setup LEDs //////////
pinMode(LEDverde, OUTPUT);
pinMode(LEDamarelo, OUTPUT);
pinMode(LEDvermelho, OUTPUT);
////////// Setup LCD //////////
lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
```

```

////////// Setup consumo ////////////

//define pino do fluxometro como de entrada
pinMode(pinoFluxometro, INPUT); //define
pino fluxometro como de entrada

//chama funcao contaFlux quando sinal
fluxometro vai de baixo a alto
attachInterrupt(1, contaFlux, RISING);

////////// Setup Patinagem ////////////

enc[0].pinoInterrupcaoA = 18;
enc[0].pinoB = 14;
enc[0].diametro = 1.18; //em metros
enc[1].pinoInterrupcaoA = 19;
enc[1].pinoB = 15;
enc[1].diametro = 1.18; //em metros
enc[2].pinoInterrupcaoA = 20;
enc[2].pinoB = 16;
enc[2].diametro = 1.56; //em metros
enc[3].pinoInterrupcaoA = 21;
enc[3].pinoB = 17;
enc[3].diametro = 1.56; //em metros

// define pinos de entrada e inicializa
variáveis
for (byte i = 0; i < 4; i++) {
  pinMode(enc[i].pinoInterrupcaoA, INPUT);
  pinMode(enc[i].pinoB, INPUT);

  enc[i].posAntiga = 0;
  enc[i].posAtual = 0;
  enc[i].posNova = 0;
  enc[i].vRot = 0;
  enc[i].distanciaTotal = 0;
  enc[i].distanciaAntiga = 0;
  enc[i].deltaDistancia = 0;

  enc[i].tempoAntigo = millis();
  delay(10);
  enc[i].tempoNovo = millis();
}
velocidadeLinearD = 0;
velocidadeLinearE = 0;

//Chama a funcao contaEncoder'N'
attachInterrupt(5, ContaEncoder0, RISING);
//interrupt 5, pino 18
attachInterrupt(4, ContaEncoder1, RISING);
//interrupt 4, pino 19
attachInterrupt(3, ContaEncoder2, RISING);
//interrupt 3, pino 20

```

```

attachInterrupt(2, ContaEncoder3, RISING);
//interrupt 2, pino 21

// ----- Cartão SD
pinMode(led_sd_ok, OUTPUT);
pinMode(led_sd_erro, OUTPUT);
if (!SD.begin(chipSelect)) { // Se houver erro
no cartão
  //Serial.println("1");
  digitalWrite(led_sd_erro, HIGH);
  digitalWrite(led_sd_ok, LOW);
  return;
}
//Serial.println("2");
digitalWrite(led_sd_erro, LOW); // se não
houver erro no cartão
digitalWrite(led_sd_ok, HIGH);

File dataFile = SD.open("dados.csv",
FILE_WRITE); // Cria arquivo txt no cartão //
Testando colocar essa parte no função SETUP
.. se der errado, colocá-la dentro da LOOP para
abrir arquivo em todo loop
if (dataFile) { // se não houver erro no cartão
  dataFile.println("PatinagemD, VelocidadeD,
Dist, Dist3, P1, P3, L/h, Totalpulsos");
  dataFile.close();

  //Serial.println("3");
  digitalWrite(led_sd_erro, LOW);
  digitalWrite(led_sd_ok, HIGH);
}
else { // se houver erro no arquivo do cartão
  //Serial.println("4");
  digitalWrite(led_sd_erro, HIGH);
  digitalWrite(led_sd_ok, LOW);
}
// ----- Fim Cartão SD
}

// ----- FUNÇÃO LOOP -----
void loop() {

  atualizaDados();
  if ( millis() - tCalculoConsumo >= 10000 ) {
    calcConsumo();
    tCalculoConsumo = millis();
  }
  calcPatinagem();
  LCD();
  LEDs();
  imprimir();
}

```

```
    delay(5000);  
}
```

ANEXO B - CÓDIGO FONTE PARA DE UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS ANDROID POR MEIO DE COMUNICAÇÃO BLUETOOTH NO ACOMPANHAMENTO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS

