

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Ronan Felipe Pereira

**Desenvolvimento, dimensionamento, construção e
avaliação do fluxômetro gravimétrico para
determinação do consumo de combustível em tratores
agrícolas**

Campinas
2020

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Ronan Felipe Pereira

**Desenvolvimento, dimensionamento, construção e
avaliação do fluxômetro gravimétrico para
determinação do consumo de combustível em tratores
agrícolas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Agrícola à
Faculdade de Engenharia Agrícola da
Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Daniel Albiero

Campinas
2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

P414d Pereira, Ronan Felipe, 1994-
Desenvolvimento, dimensionamento, construção e avaliação do fluxômetro gravimétrico para determinação do consumo de combustível em tratores agrícolas / Ronan Felipe Pereira. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Daniel Albiero.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Gravimetria. 2. Tratores agrícolas. 3. Máquinas agrícola - Custo operacional. 4. Combustíveis - Consumo. I. Albiero, Daniel, 1975-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Daniel Albiero [Orientador]

Angel Pontin Garcia

Cezario Benedito Galvão

Data de entrega do trabalho definitivo: 22-01-2021

**Desenvolvimento, dimensionamento, construção e avaliação
do fluxômetro gravimétrico para determinação do consumo de
combustível em tratores agrícolas**

Ronan Felipe Pereira

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Dr. Daniel Albiero
Orientador

.....
Prof. Dr. Angel Pontin Garcia

.....
Ms. Cezário Benedito Galvão

DEDICATÓRIA

A todos que direta ou indiretamente me acompanharam e me ajudaram nessa jornada. E aos que utilizarem esta obra como fonte de estudo.

AGRADECIMENTOS

Ao doutor, professor, orientador e amigo Daniel Albiero, por toda orientação e ajuda na condução deste trabalho.

Ao mestre em Engenharia Agrícola Cezário Benedito Galvão pela supervisão técnica do projeto.

A todos os técnicos dos laboratórios envolvidos na parte de construção do fluxômetro.

A minha família, namorada e amigos e todos os demais próximos que me mantiveram firme para vencer essa etapa da minha vida.

Muito obrigado a todos vocês!

RESUMO

O significativo consumo de combustíveis nas atividades agrícolas, representam a maior parcela dos custos de hora-máquina além de um grande risco a poluição ambiental. Assim, são necessárias informações adequadas para tomadas de decisão na operação de máquinas agrícolas, a fim de otimizar sua condução para um consumo mínimo de combustíveis. Para realizar o estudo da eficiência dos motores agrícolas e ter informação para a tomada de decisão é necessário realizar ensaios utilizando equipamentos como dinamômetros e fluxômetros.

Dessa forma, o objetivo proposto deste trabalho é a construção do fluxômetro gravimétrico que pode oferecer uma alternativa na aquisição de dados de consumo de combustível para compor o estudo do levantamento de curvas de consumo específico e potência específica de motores agrícolas.

O trabalho foi todo desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, assim como os testes realizados, utilizando materiais disponíveis no próprio laboratório para construção, sensores e tudo que foi envolvido desde a calibração até a aquisição de dados.

Foram realizados nove ensaios em diferentes rotações para avaliar a precisão da célula de carga, principal sensor envolvido ao mensurar o consumo de combustível, e todos os resultados foram positivos quanto à capacidade do sensor. Estatisticamente o sensor demonstrou baixo coeficiente de variabilidade em todas as séries apresentando 7,12% como maior valor, apresentando assim uma boa homogeneidade dos dados.

Palavras-chave: fluxômetro gravimétrico, isoconsumo, consumo específico, máquinas agrícolas.

ABSTRACT

The significant consumption of fuel in agricultural activities, represents the largest portion of the hourly machine costs in addition to a great risk to environmental pollution. Thus, adequate information is needed for decision making in the operation of agricultural machinery, in order to optimize their driving for minimum fuel consumption. In order to study the efficiency of agricultural engines and have information for decision making, it is necessary to carry out tests using equipment such as dynamometers and flow meters.

Thus, the proposed objective of this work is the construction of a gravimetric flow meter that can offer an alternative in the acquisition of fuel consumption data to compose the study of the diagram of specific consumption and specific power curves of agricultural engines.

The work was all developed at the Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, as well as the tests carried out, using materials available in the laboratory for construction, sensors and everything involved from calibration to the data acquisition.

Nine tests were carried out at different revolutions per minute to evaluate the accuracy of the load cell, the main sensor involved when measuring fuel consumption, and all results were positive regarding the sensor's capacity. Statistically, the sensor showed a low coefficient of variability in all series, presenting 7.12% as the highest value, it presents a good homogeneity of the data.

Keywords: gravimetric flow meter, iso consumption, specific consumption, agricultural machinery.

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1. Justificativa	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo geral	11
1.2.2. Objetivo específico	11
2. Revisao literatura	12
2.1. Sensores	12
2.1.1. Célula de carga	12
2.1.2. Termopar	14
2.2. Métodos de medida	13
2.3. Sistema de alimentação de tratores agrícola	15
2.4. Fluxômetro gravimétrico	16
3. Metodologia	17
3.1. Construção	18
3.2. Calibração sensores	23
3.3. Ensaio	24
4. Resultados e discussão	27
5. Conclusões	30
6. Referências	32

1. Introdução

Nota-se o crescimento da produção agrícola ligado à implantação de novas tecnologias, mais diretamente às máquinas agrícolas. Essas máquinas fornecem energia, eficiência e a produtividade necessárias às operações, além de remediar a diminuição no número de trabalhadores rurais no país. Ao visualizar o cenário agrícola atual, é imprescindível equiparar produtividade à maquinário e tecnologia, juntamente com um baixo custo (MONTANHA et al., 2017).

SILVEIRA et al. (2017) ressaltam que a agricultura é um dos setores que mais demanda tomadas de decisões adequadas no sentido de reduzir o alto consumo de combustíveis e dessa forma a poluição ambiental, PELOIA et al. (2010) reforçam que dentro da agricultura, tem-se a mecanização agrícola como principal em termos de potencial de redução dos custos de produção; pois os custos com combustíveis representam a maior parcela do custo total de uma hora-máquina, sendo esta de 16 a 45% dos custos horários de um trator agrícola.

Portanto, surge a necessidade de equipamentos para mensurar a eficiência das operações com um motor agrícola pois necessitamos do entendimento das características do desempenho do mesmo para que seja possível operá-lo em condição de maior rendimento, já que com esse entendimento torna-se possível fazer uma seleção ótima de rotação e da relação de transmissão minimizando o consumo específico de combustível, e conseqüentemente os custos totais pela operação e também o custo específico por hora-máquina trabalhada.

Sendo assim, no presente trabalho realizou-se o dimensionamento, construção e avaliação do equipamento, fluxômetro gravimétrico, que irá compor o conjunto de ferramentas para realização de estudos de levantamento de curvas de isopotência e isoconsumo em máquinas agrícolas, sendo uma alternativa a outros sistemas de medição de fluxo do combustível.

1.4 Justificativa

A justificativa para a realização deste trabalho é construir uma aparelhagem que forneça uma alternativa para mensurar o consumo de combustível em motores agrícolas. Frente a dificuldade que sensores volumétricos apresentam por conta de entupimentos em função de impurezas sólidas em suspensão no óleo diesel, a utilização de um fluxômetro gravimétrico pode ser uma alternativa eficiente para realizar tal medição.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é a construção do aparato instrumental que pode oferecer uma alternativa na aquisição de dados de consumo de combustível para compor o estudo do levantamento de curvas de isoconsumo e isopotência de motores agrícolas.

2.1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto é a construção e validação de toda a instrumentação do fluxômetro gravimétrico para que assim seja possível realizar o levantamento do consumo de combustível em função da variação de rotação do motor, permitindo realização de ensaio completo para levantar as características de desempenho do motor agrícola.

1.2.2 Objetivo específico

- Construir a estrutura metálica para receber os sensores;
- Montar uma estrutura de instrumentação para mensurar os dados de consumo;

- Realizar parte do ensaio de curva do motor agrícola utilizando a instrumentação desenvolvida;
- Validar o sistema de tomada de dados;
- Oferecer este aparelho como alternativa ao estudo de levantamento de curvas de motores agrícolas.

2. Revisao literatura

2.1 Sensores

2.1.1 Célula de carga

Ao receber uma ação de uma força externa os corpos tendem a se deformar em resposta. No caso em que o corpo permanece em seu domínio elástico é possível medir essa deformação. Segundo MALERBA (2009), a extensometria é uma técnica utilizada para análise experimental de deformações em corpos sólidos e que também possibilita a obtenção do esforço máximo que um corpo suporta. A extensometria é utilizada também para confecção de transdutores e sensores de alta precisão, utilizados para medidas como pressão, força e torque. A célula de carga utilizada neste trabalho opera utilizando um extensômetro elétrico, *strain gage*, para medição de esforços, e seu sistema de aquisição de dados opera via porta tipo DB9 através de um amplificador de sinal, onde será feita a calibração e conversão dos dados medidos, força, para unidades de variação de massa.

Para esse projeto foi determinado que a célula de carga, figuras 1 e 2, a ser utilizada será da marca R&S modelo SB série 086091-T, por estar disponível e ter sido cedida pelo Laboratório de Instrumentação e Controle da FEAGRI. Contando com o fundo de escala de 5 kgf e sensibilidade de 1,9989 mV/V essa célula é adequada para os tipos de aferições que serão feitas no projeto final.



Figura 1. Detalhe da empresa fabricante e a série do sensor



Figura 2. Detalhe das especificações do sensor

2.1.2 Termopar

Os termopares são os sensores de temperatura mais utilizados nas aplicações industriais por conta da sua robustez e pela simplicidade de operação. Entretanto, segundo MOREIRA (2002), para que as aferições de temperatura com termopar sejam confiáveis, é necessário conhecer os princípios básicos de operação, como também as condições em que o sistema se encontra durante a operação para que esses princípios sejam válidos.

A escolha do termopar foi feita em função dos sensores disponíveis na faculdade. Por conta disso, não foi possível confirmar as informações do fabricante e aspectos como fundo de escala, sensibilidade e etc. Porém, para a finalidade deste projeto de validar o fluxômetro o termopar utilizado não é tão relevante e poderá ser substituído sem grandes dificuldades a qualquer momento no futuro.

2.2 Métodos de medida

O sistema de aquisição de dados será feito com auxílio do HBM Quantum X MX840B, figura 3, e o software Catman que é distribuído pela própria HBM. Os sensores de carga e temperatura serão acoplados ao Quantum, onde serão alimentados com uma tensão de 5V, e os dados serão obtidos e armazenados conforme o ensaio é realizado para que se possa trabalhar posteriormente nos mesmos.



Figura 3. HBM Quantum MX840B

Será necessário realizar uma correção dos dados para se obter o volume de combustível consumido, pois será aferido a quantidade de massa consumida, e conhecendo sua densidade variando em função da temperatura pode-se relacionar os dados obtendo a variação de volume do reservatório.

2.3 Sistema de alimentação de tratores agrícola

Em um motor a diesel, o sistema de alimentação de combustível se apoia em uma bomba injetora principal que funciona como o coração do motor. Todo o combustível passa inicialmente por uma bomba alimentadora, passa por filtros e por fim passa por uma bomba injetora principal de onde segue com alta pressão para o cabeçote do motor.

Após passar pelo cabeçote parte do combustível que não é queimado retorna para o tanque de combustível por um retorno direto. Junto a esse retorno soma-se também uma parcela de combustível que não foi pressurizado vindo da bomba injetora. A figura 4, retirada das anotações do Professor Doutor Carlos Alberto Alves Varella (UFRRJ, 2012), demonstra o esquema de funcionamento do sistema de alimentação.

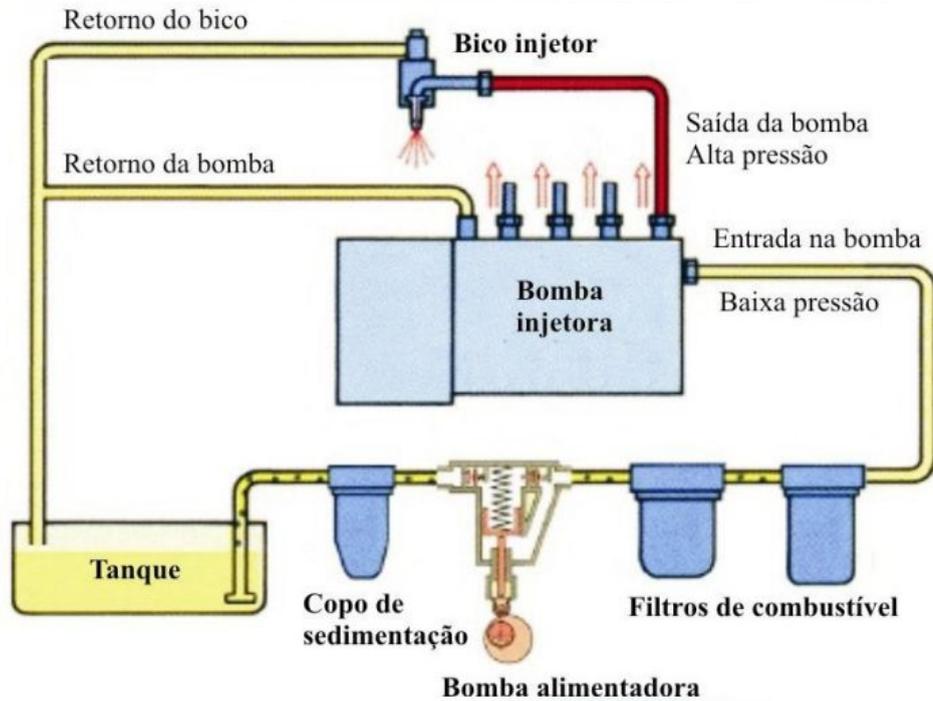


Figura 4. Esquema representativo da linha de alimentação de combustível

2.4 Fluxômetro gravimétrico

O conceito de telemetria baseado em um sistema gravimétrico surgiu como possível solução a partir do estudo das anotações do Professor Doutor Antonio José da Silva Maciel em que surge uma imagem, figura 5, que ilustra um sistema gravimétrico utilizado pela Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). Empresa alemã que realiza diversos serviços na área agrícola entre eles o estudo das curvas de isoconsumo de motores, realizando seus ensaios de acordo com a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD).



Figura 5. Fluxômetro utilizado pela DLG retirado das anotações do Professor Maciel.

Além das anotações do professor Maciel, verificou-se uma dificuldade no uso de fluxômetros volumétricos no estudo do Trabalho de Conclusão de Curso do Engenheiro Gabriel Del Alamo Cardoso Moraes (MORAES, 2017).

3. Metodologia

O princípio de operação do fluxômetro projetado é muito parecido com o de balanças comerciais, uma superfície rígida em forma de disco, conectada a sensores de deformação, servindo de base para uma massa que precisa ser mensurada.

Foi construída uma caixa de metal que conta com um recipiente para o óleo diesel apoiado sobre uma célula de carga para mensurar a variação da massa de combustível. Além disso, um sensor do tipo termopar é mergulhado no líquido para acompanhar a temperatura do mesmo.

Um sistema de admissão e retorno do combustível foi desenvolvido e é composto por dois espigões de latão presos a tampa da estrutura, em cada um dos espigões foi soldado um tubo de cobre que ficará próximo do fundo do recipiente contendo o combustível.

Com o funcionamento de toda instrumentação em ordem, o recipiente funcionará como substituto temporário do tanque de combustível durante os ensaios e toda variação de massa de óleo diesel será lida pela célula de carga e guardada para posterior trabalho desses dados. Além dos dados de massa, é obtido também os dados de variação da temperatura do combustível, graças ao termopar, possibilitando corrigir os dados de massa consumida, pois a densidade do diesel varia em função da temperatura.

Ao redor do mundo, ensaios realizados em motores agrícolas são estabelecidos pelas normas OECD (Padrão para testes oficiais de tratores agrícolas e florestais), sendo assim esses protocolos foram levados em conta para a execução desse projeto. Além das normas do código 2 da OECD, os procedimentos experimentais também seguiram a NBR ISO 1585 (1996).

3.1 Construção

Os materiais escolhidos para a estrutura da caixa foram aço 1020, por conta da disponibilidade do mesmo no laboratório e preço relativamente baixo, e perfis de alumínio v-slot 20x20mm. Como a estrutura não sofrerá nenhum esforço que possa gerar deformações relevantes na mesma, a escolha do material pode ser baseada no seu preço e não na sua resistência à deformação.

As chapas de aço foram cortadas, dobradas e soldadas e nos perfis de alumínio foi feito rosca fêmea para fixação de parafusos. Foi escolhido esse perfil de alumínio por conta da disponibilidade e também por conta da geometria ser compatível permitindo encaixar chapas de acrílico para fechamento da caixa do equipamento isolando os mecanismos internos de medição e tornando visível a variação do nível de combustível.

A construção da estrutura seguiu o seguinte cronograma, apresentado na tabela 1, o projeto da estrutura foi desenhado com o auxílio dos técnicos do laboratório para tornar o projeto final o mais prático possível visando a facilidade da construção.

Tabela 1. Cronograma de atividades para desenvolvimento do projeto

Atividade	Prazo
Projetar a estrutura	10 dias
Construção da estrutura	30 dias
Teste dos sensores e S.A.D.	15 dias
Finalização da montagem	5 dias
Ensaio e aquisição de dados	30 dias
Resultados e conclusão	15 dias
Redação final do TCC	15 dias

A construção em si foi realizada pelo próprio autor com auxílio dos técnicos na utilização do torno mecânico e no processo de soldagem. As figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 ilustram o processo de construção.



Figura 6. Chapas cortadas e soldadas



Figura 7. Detalhe da solda entre os pinhões e os tubos de cobre



Figura 8. Primeira pré-montagem

O sensor de temperatura será inserido pela parte superior da caixa e não é fixado em nada permitindo assim variar a profundidade do termopar dentro da caixa para garantir bom contato do terminal sensível proporcionando boa leitura da temperatura do combustível.



Figura 9. Pré-montagem com as peças em aço pintadas para evitar oxidação

Foi instalado um anteparo no final do tubo de retorno de combustível para dissipar a pressão desse fluxo, conduzindo-o para saídas laterais no tubo de cobre visando eliminar erros de leitura na célula de carga.



Figura 10. Montagem final com placas de acrílico nas laterais



Figura 11. Detalhe do conector DB9 para tomada de dados

Em relação ao recipiente pode ser utilizado qualquer espécie de vidraria com volume de pelo menos 2 litros, e, de preferência, com alguma indicação de graduação para facilitar no momento de encher o recipiente e começar o ensaio.



Figura 12. Exemplo de vidraria adequada para utilização no fluxômetro

3.2 Calibração sensores

Para correta utilização de sensores em geral é necessário a calibração destes, assim para a célula de carga R&S foi feito como sugere FARIA et al., 2006 utilizando pesos-padrões F2 similares com os da figura 13, disponíveis no laboratório, aplicava-se o peso de massa conhecida e fazia-se a leitura do sensor. Com esses pesos é possível então calibrar uma curva de resposta desse sensor.

É de extrema importância que em cada utilização realize-se uma sessão de calibração do sensor para evitar que erros sistêmicos estejam contabilizados nas leituras durante o ensaio.



Figura 13. Exemplo de pesos para calibração

3.3 Ensaio

O trator utilizado para o teste foi o modelo Massey Ferguson 265, disponibilizado pela faculdade para o desenvolvimento do trabalho. Além do dinamômetro acoplado a TDP da máquina, foi feita uma derivação das linhas de alimentação e retorno de combustível de forma a fazer com que o aparelho desenvolvido funcione como o tanque de combustível do motor. Feito isso o motor do trator ficou ligado por um período de aproximadamente 1 hora, a fim de estabilizar a potência, conforme a NBR ISO 1585 (1996).

Os ensaios se iniciaram com uma rotação de 750 rpm no motor, a partir disso aplicou-se uma força resistiva no dinamômetro de modo a reduzir a rotação para 700 rpm. Após estabilizar a rotação iniciou-se a aquisição de dados e após uma média de consumo de 200 gramas o ensaio era encerrado.

A partir da rotação de 700 rpm uma nova força era aplicada até um novo decréscimo de 50 rpm no motor e assim foram feitos ensaios subsequentes totalizando nove leituras de diferentes rotações e consumo referente à cada rotação.

A avaliação do consumo é feita levando em conta a diferença nas leituras de massa inicial e final do ensaio. Como temos um sistema de retorno essa diferença é exatamente a quantidade de diesel consumido pelo motor. Dessa forma, ao fazer a divisão da quantidade de massa consumida pelo tempo corrido no ensaio temos o valor da taxa de consumo em gramas/segundo ou qualquer outra unidade de massa/tempo.

Porém, ainda é necessário fazer uma correção da densidade, pois como temos um fluxo que retorna do cabeçote do motor o combustível acaba sendo aquecido conforme o ensaio é realizado. Foi utilizada a equação obtida por LOPES et al. (2003) para calcular a densidade do combustível em cada série de ensaio.

$$D = 863,22 - 0,72T$$

Em que:

D = densidade do combustível em função da temperatura, (g L⁻¹)

T = temperatura do combustível, (°C)

R² = coeficiente de determinação da regressão, 0,9946.

Para ilustrar a disposição dos equipamentos e de como foi realizado o ensaio um curto vídeo foi gravado e está disponível na plataforma online YouTube através do link youtu.be/sC9kS39w-P4. Além do vídeo, as figuras 14 e 15 ilustram o momento de preparação antes da realização do ensaio em si.



Figura 14. Instrumentação instalada, destaque para o fluxômetro



Figura 15. Instrumentação instalada, destaque para o dinamômetro

4. Resultados e discussão

Considerando o objetivo de validação do funcionamento do fluxômetro gravimétrico, foi possível, a partir dos dados obter os gráficos da variação de massa de combustível em função do tempo para cada um dos ensaios, e dessa forma interpretar os resultados obtidos. Como foram nove ensaios subsequentes, teremos nove curvas, disponíveis na figura 16.

Variação da massa de combustível em função do tempo

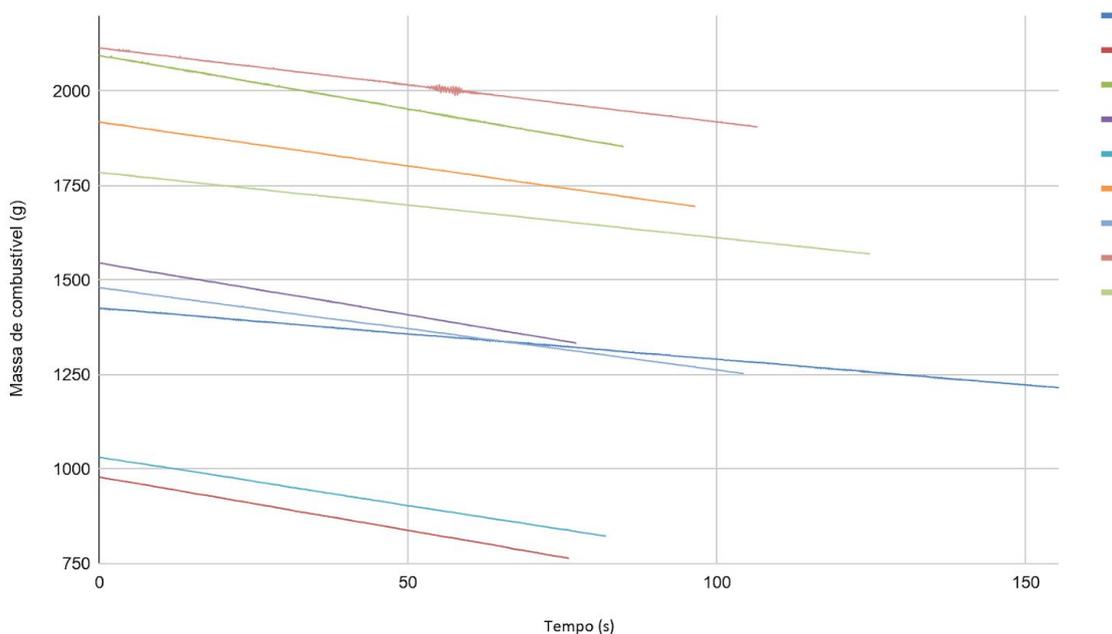


Figura 16. Curvas geradas a partir dos dados da célula de carga

Observando os dados brutos, pode-se notar que apesar de a metodologia do ensaio estipular que a rotação seja mantida constante em intervalos de 50 rpm é muito difícil manter esse valor visto que o sistema de acionamento do dinamômetro é manual e existe uma imprecisão enquanto o operador tenta ajustar a força necessária para chegar na rotação exata para os intervalos de ensaio. Os ensaios foram realizados em uma rotação próxima do planejado porém com uma leve variação. Entretanto, para a finalidade de coleta de dados os ensaios foram todos válidos e essa variação não interfere em nada.

A construção das curvas foi feita a partir de uma média de 200 pontos diferentes com intervalo de 0,5 segundos entre cada ponto. Como a gravação dos dados se deu ao atingir uma estabilidade na rotação a taxa de consumo foi constante e pode-se calcular a mesma dividindo a variação de massa pelo tempo decorrido. Ou seja, a inclinação de cada reta gerada representa a taxa de consumo mensurada para aquela rotação.

Nota-se em primeiro momento que não existe nenhum grande *outlier* nas curvas, porém é preciso avaliar estatisticamente as leituras. Para avaliar essa série de dados foi construído a tabela 2, disponível a seguir, com os dados de máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação para cada ensaio além do consumo em gramas/segundo em cada ensaio.

Tabela 2. Dados estatísticos dos ensaios

Ensaio 1	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	155	1426,20	1,36
Mínimo		1215,20	
Desvio Padrão		60,73	
Coef. de variação		4,6%	
Ensaio 2	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	76	979,50	2,84
Mínimo		763,41	
Desvio Padrão		62,09	
Coef. de variação		7,12%	

Ensaio 3	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	89,50	2094,30	2,70
Minimo		1852,60	
Desvio Padrão		69,70	
Coef. de variação		3,53%	

Ensaio 4	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	77	1546,40	2,77
Minimo		1332,60	
Desvio Padrão		61,17	
Coef. de variação		4,25%	

Ensaio 5	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	82	1031,90	2,55
Minimo		822,56	
Desvio Padrão		60,48	
Coef. de variação		6,53%	

Ensaio 6	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	94,50	1919,50	2,37
Minimo		1694,60	
Desvio Padrão		64,44	
Coef. de variação		3,57%	

Ensaio 7	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	104,5	1480,30	2,18
Mínimo		1252,30	
Desvio Padrão		35,43	
Coef. de variação		4,79%	

Ensaio 8	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	106,50	2114,50	1,97
Mínimo		1904,20	
Desvio Padrão		60,15	
Coef. de variação		2,99%	

Ensaio 9	Tempo (s)	Massa de combustível (g)	Consumo (g/s)
Máximo	125	1784,40	1,72
Mínimo		1569,10	
Desvio Padrão		62,23	
Coef. de variação		3,71%	

5. Conclusões

Para os ensaios realizados, tivemos leituras de valores de massa que variam entre o intervalo de 2094 e 763 g. Então pode-se considerar que houve uma considerável amplitude de dados dentro do fundo de escala da célula de carga. Vale ressaltar que os valores de início do ensaio não são obrigatoriamente sempre menores que o final do ensaio anterior, pois ao decorrer do tempo foi necessário abastecer o recipiente com mais combustível.

Analisando os dados estatísticos a fim de validar o equipamento, nota-se as baixas variações dos dados coletados, mostrando a estabilidade do sistema de aquisição. O maior coeficiente entre todos os ensaios foi de 7,12%, o que implica em grande homogeneidade da série e confiabilidade dos dados obtidos.

Sendo assim, conforme indicado ao longo deste trabalho, a instrumentação desenvolvida neste quando submetida ao ensaio proposto, com testes de consumo de combustível em função de diversas rotações, se apresentou hábil na mensuração das variáveis exigidas pelas normas observadas neste trabalho. Além de ser uma ferramenta útil para o uso nas disciplinas que dizem respeito ao estudo da eficiência das máquinas agrícolas no curso de Engenharia Agrícola por ser simples de operar e de se fazer manutenção caso se faça necessário.

Referências

DE FARIA, R. T.; DE M CAMPECHE, F. S.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237–242, 2006. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

LOPES, Afonso et al . **Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 7, n. 2, p. 382-386, ago. 2003 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000200033&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 23 jan. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200033>.

MALERBA, P. C. C.; GUARNIERI, F. L.; BARROS, J. **Aplicação da extensometria através de Strain Gage: Elaboração de uma célula de carga com sistema de aquisição de dados computadorizado**. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba

MIRANDA, Evaristo. **ÁREAS CULTIVADAS NO BRASIL E NO MUNDO. AGROANALYSIS**, [S. l.], p. 25-27, 1 fev. 2018. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174066/1/4942.pdf> Acesso em 20/09/2019

MONTANHA, Gustavo Kimura et al. **CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM TRATOR AGRÍCOLA NO PREPARO DO SOLO**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 26, n. 1, p.39-51, 2011.

MORAES, Gabriel Del Alamo Cardoso. **Levantamento de curva completa de motor agrícola**. - Campinas, SP : [s.n.], 2017.

MOREIRA, Lúcia. **Medição de temperatura usando-se termopar**. Cerâmica Industrial, v. 7, n. 5, p. 51-53, 2002.

PELOIA, P. R. .; MILAN, M. **Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola.** Revista Engenharia Agrícola, v. 30, n. 4, p. 681–691, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n4/12.pdf>>.

SILVEIRA, M.; JOSÉ, D. F.; SCHLOSSER, F.; LINARES, P.; PAULO, J. **Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission.** **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, p. 1–7, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160814>>.

R & S Tecnologia de Transdutores. **Catálogo Célula de Carga Modelo SB.** Disponível em: <<http://www.rstt.com.br/sb.htm>> Acesso em 20/09/2020.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Sistemas auxiliares dos motores de combustão interna.** Seropédica - Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/sistemas_auxiliares.pdf>