



**PEDRO DERACO RIBAS**

**VIABILIDADE DA REDUÇÃO DE RPM DA ÁRVORE DE  
MANIVELAS EM CAMINHÕES COMBOIO E SUA  
INFLUÊNCIA NO CONSUMO E NA LOGÍSTICA DE  
ABASTECIMENTO**

**LAVRAS-MG  
2022**

**PEDRO DERACO RIBAS**

**VIABILIDADE DA REDUÇÃO DE RPM DA ÁRVORE DE MANIVELAS EM  
CAMINHÕES COMBOIO E SUA INFLUÊNCIA NO CONSUMO E NA  
LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2022**

**PEDRO DERACO RIBAS**

**VIABILIDADE DA REDUÇÃO DE RPM DA ÁRVORE DE MANIVELAS EM  
CAMINHÕES COMBOIO E SUA INFLUÊNCIA NO CONSUMO E NA  
LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO**

**FEASIBILITY OF REDUCING THE RPM OF THE CRANKSHAFT IN TRAIN  
TRUCKS AND ITS INFLUENCE ON CONSUMPTION AND SUPPLY  
LOGISTICS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 16/09/2022

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Orientador

**LAVRAS-MG  
2022**

## DEDICATÓRIA

*Dedico a meus pais Fábio e Silvana,  
meus avós Orlando e Maria de Lourdes e  
minha irmã Laura pelo amor dedicado todo  
esse tempo, por sempre acreditarem e  
apoiarem meus sonhos, sem vocês nada seria  
possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado muita força, coragem e principalmente saúde para conseguir alcançar meu grande objetivo. Aos meus pais Fábio e Silvana, meus avós Orlando e Maria de Lourdes, minhas tias Teresa e Maria por todo carinho, cuidado e apoio, vocês são meus exemplos de garra e dedicação. Obrigado pelo amor, incentivo e todo esforço investido na minha educação, pois, mesmo em condições difíceis não mediram esforços, sem vocês essa conquista nunca teria sido iniciada. A minha irmã Laura, por me motivar a ser uma pessoa melhor a cada dia, servindo-lhe de espelho. À minha namorada Caroline, que além de companheira foi uma grande amiga, estando presente nos melhores e piores momentos dessa jornada com palavras de incentivo, apoio e amor. Aos amigos da Diretoria, Só Resenha e Chama o Raul que tive a oportunidade de compartilhar amizades verdadeiras que levarei para toda a vida, obrigado pelo amor, cumplicidade e por se tornarem minha segunda família. A todos os amigos que fiz durante a minha graduação e que me proporcionaram momentos inesquecíveis. Por fim, agradeço imensamente a todos aqui citados que de alguma forma contribuíram para que esse momento se realizasse.

## RESUMO

O Caminhão Comboio é um veículo de transporte de cargas projetado para transportar combustíveis e lubrificantes de forma segura, tendo o objetivo de facilitar e otimizar a execução das atividades desenvolvidas por diversas máquinas e implementos agrícolas, sem ocorrer a necessidade de deslocamento até postos de abastecimento. O presente trabalho teve como objetivo determinar a rotação ideal por minuto que acarretará em menores custos operacionais, com relação ao gasto com combustíveis consumidos pelos caminhões comboio. O estudo foi realizado em uma empresa situada no município de Guariba - SP, utilizando dois caminhões comboio. As vazões de combustíveis transferidas pela bomba do caminhão em l/s, foram mensuradas a campo durante o abastecimento dos equipamentos utilizando as rotações de 1100, 1300 e 1500 rpm. O volume de combustível consumido pelo cavalo mecânico foi calculado a cada passagem do veículo pelo posto de abastecimento relacionando assim, o volume em litros com a quilometragem que o caminhão percorreu, analisando dessa forma, a influência da rotação por minuto utilizada em campo sob o consumo total. Os deslocamentos dos veículos foram observados por meio do sistema de monitoramento instalado em cada caminhão, para que a rotação durante esta manobra não excedesse a faixa econômica compreendida entre 1100 a 1800 rpm. Os dados de abastecimento realizados pelos caminhões comboio nos equipamentos que se encontravam em campo, foram obtidos pelo sistema de gerenciamento da empresa para que o estudo da vazão de combustível fosse compatível com as demandas mais críticas que houve diariamente. Para a rotação de 1100 rpm, observou-se maior consumo de tempo para o abastecimento de cada equipamento, porém, esta rotação foi capaz de suprir a demanda crítica, sendo determinada pelo dia que houve a maior demanda de volume a ser abastecido, e o consumo em l/km foi reduzido, portanto, gerando menores custos operacionais e um maior custo benefício durante a utilização dos caminhões.

**Palavras-chave:** Custo; Eficiência; Tempo.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Mecanização agrícola no setor sucroenergético .....	10
2.2 Caminhão comboio .....	10
2.3 Consumo de combustível.....	11
2.4 Funcionamento de bombas .....	13
3 METODOLOGIA.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve grande crescimento de variados ramos de serviços. O surgimento e aplicação de novas tecnologias se destacam entre os principais fatores para este acontecimento. Tal fato leva a uma reestruturação na forma de gerir os negócios, bem como, produzir matérias primas essenciais para a importação e exportação que contribuem para o desenvolvimento da economia brasileira.

Dentro do ramo agrícola ocorreu o aumento da produtividade, sem grande necessidade de expansão de novas áreas, devido ao desenvolvimento e aprimoramento de novos equipamentos, técnicas de cultivo de variadas culturas e formas de operação. Isso desencadeou o incremento da substituição da mão de obra braçal por máquina, resultando no crescimento exponencial da produção agrícola.

Desta forma, em razão das grandes extensões de terra a serem cultivadas e com a introdução da energia mecanizada, desenvolveram-se máquinas pesadas de médio a grande porte, sendo fatores fundamentais para o aumento da produtividade no campo. No entanto, para que se tenha uma alta produção, é necessário que ao longo de uma jornada de trabalho tenha-se muitas horas produtivas de operação, sendo fundamental que os equipamentos não necessitem parar suas atividades para realizarem o reabastecimento se deslocando até postos de abastecimento de combustíveis, que muitas vezes estão localizados a longas distâncias.

Assim, tornou-se fundamental o desenvolvimento de equipamentos que levasse combustível até as áreas agrícolas, surgindo então o caminhão comboio. Este veículo se tornou peça chave no sistema de produção por ser desenvolvido para o transporte de combustíveis e lubrificantes de forma segura, facilitar e otimizar a execução das atividades desenvolvidas por diversas máquinas e implementos agrícolas, sem a necessidade de deslocamento.

O caminhão comboio, popularmente conhecido como comboio, possui amplas funcionalidades dentro do sistema de produção agrícola mecanizado. Esse atua indiretamente em todas as fases de cultivo, colheita e preparo de solo, apoiando todas estas, que trabalham de forma interrupta em locais distantes dos postos de abastecimento e diariamente necessitam de combustíveis e periodicamente de lubrificantes. Sendo assim, este é o veículo ideal para atender as operações de forma precisa e ágil.

Um dos desafios da utilização de caminhão comboio é o consumo de combustível durante os deslocamentos e abastecimentos, para que não gere prejuízos operacionais para

a companhia. Por serem veículos de grande porte, naturalmente possuem um alto consumo energético devido a sua construção de fábrica ser voltada para trações com grandes cargas. Outro fator a ser considerado é o fato de serem constituídos uma bomba centrífuga que é acionada constantemente pelo motor do caminhão durante o abastecimento dos equipamentos.

Nesse contexto, uma das variáveis que interfere diretamente no consumo de combustíveis destes veículos é a faixa ideal de rpm da árvore de manivelas durante os deslocamentos e uso da bomba centrífuga, pois proporcionam a movimentação de diesel através da tomada de força do motor, e assim, ao trabalhar com a combinação ideal de tempo de operação e esforço, pode-se encontrar uma forma eficiente de economizar combustível.

No entanto, apesar do alto valor agregado operacionalmente, informações sobre esse tema ainda são escassas, necessitando de mais estudos para o aprimoramento das operações. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo determinar a rotação por minuto ideal que acarretará em menores custos operacionais, quando se considera a diminuição do consumo de combustível por caminhões comboio.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Mecanização agrícola no setor sucroenergético**

A trajetória recente de expansão do setor sucroenergético, deparou-se com marcos impactantes em sua estrutura e métodos de produção, proporcionando grande reestruturação do setor (SILVA et al., 2019).

O desenvolvimento de veículos movidos a biocombustíveis contribuiu para a rápida elevação de oferta e demanda da produção da cana de açúcar, devido ao surgimento de uma tecnologia que permitiu com que veículos a combustão passassem a ser movidos por etanol. Além disso, por este ser renovável e ter preço de mercado acessível, ocasionou processos de aquisições, fusões e internacionalização da produção que contribuiu para o crescimento acelerado e aquecimento do mercado (CASTRO et al., 2021).

Nesse contexto, as preocupações relacionadas a emissões de gases surgiram, devido ao processo de queima da lavoura de cana de açúcar, já que ao realizar a queima, facilita a realização do corte manual. Entretanto, este fato trouxe como resultado agressões ao meio ambiente, decorrente da emissão de gases poluentes. Além disso, também surgiram alertas relacionadas a condições de trabalho dos colaboradores rurais, devido aos ambientes operacionais que apresentam riscos à saúde dos trabalhadores (SILVA et al., 2019).

Com pressões relacionadas ao cultivo sustentável e crescentes inovações tecnológicas, o setor agrícola canavieiro apresentou transições no processo de cultivo, ou seja, a incorporação de máquinas que permitissem a substituição do trabalho vivo pelo morto, com crescimento exponencial nos canaviais brasileiros. Além do crescimento tecnológico e das máquinas ao campo, a produção passou a ser ainda maior, tornando o processo produtivo otimizado e altamente rentável com a substituição do trabalho manual (LIMA, 2021).

### **2.2 Caminhão comboio**

O processamento do volume de matéria prima demandado pelos bioparques canavieiros, que trabalham ininterruptamente, requer alocação de mão de obra, equipamentos e uma gestão eficiente que garanta a execução otimizada dos processos. Neste contexto, uma ferramenta que tem papel fundamental no setor sucroenergético é o

caminhão comboio, uma vez que há um crescimento contínuo decorrente do aumento da demanda de açúcar, álcool e derivados (SHEIDL et al., 2012).

A introdução destes caminhões nos bioparques se deu devido a mecanização agrícola do processo do plantio, tratos culturais e colheita, com 95% das atividades ocorrendo de forma mecanizada. Os caminhões comboio são unidades móveis de abastecimento e lubrificação que compõe a frente de apoio destas operações, assim, estes equipamentos são divididos em dois modelos, comboio diesel e comboio misto (ZANGIROLAMO et al., 2018; RAMOS, 2020).

O comboio diesel trata-se de um cavalo mecânico acoplado a um grande reservatório de combustível que armazena óleo diesel, realizando o abastecimento e outros aditivos dos equipamentos. Já o comboio misto, se trata de um cavalo mecânico acoplado a uma estrutura composta por vários reservatórios de pequeno porte que armazenam óleos lubrificantes, graxas, líquidos de arrefecimento, diesel e água, dispendo assim, de maiores funcionalidades e fornece maior apoio a operação (RAMOS, 2020).

Estes veículos realizam o atendimento em rotas estratégicas, reduzindo os impactos relacionados a grandes deslocamentos, percorrendo toda a área de lavra, além disso, são de grande importância na otimização da logística de abastecimento, sendo essenciais à potencialização das atividades para que se possa trabalhar com eficiência e qualidade. (ZANETTI, 2017; RAMOS, 2020).

Desta forma, é possível a compreensão de como a cadeia de distribuição atendida pelos caminhões comboio é ampla, estabelecendo participação ativa no abastecimento, lubrificação e manutenção ao campo, viabilizando o trabalho contínuo das operações. (ZANETTI, 2017; RAMOS, 2020).

### **2.3 Consumo de combustível**

O consumo de combustível é uma característica cujo valor resulta da relação da quilometragem percorrida pelos caminhões e o consumo de óleo diesel consumido nesse percurso. Pensando em motores, trata-se da demanda de matéria necessária para que o processo de combustão seja possível, assim, é atrelado a intensidade energética diretamente proporcional ao esforço necessário na movimentação de cargas (LEOCADIO, 2011; NOVO, 2011).

Assim, o consumo de combustível é um responsável direto pela variação do custo operacional devido ao alto valor agregado, sendo ainda, uma das principais metas de

políticas energéticas e ambientais decretadas por vários países para que se haja redução da emissão de gás carbônico que estes geram (NOVO, 2011).

A eficiência energética ou redução no consumo de combustível pode ser obtida através de modificações estruturais, operacionais, no motor, na transmissão e combustível. Alterações estruturais e no sistema de propulsão comumente são realizadas por empresas do setor de projetos e fabricação de veículos, com contribuições de fácil quantificação. Enquanto modificações operacionais apresentam contribuições para o consumo, complexas e de difícil mensuração, dependentes exclusivamente das condições do veículo e operação. (MURTA, 2018).

A redução de custos é de extrema importância, independentemente de qualquer posição e momento em que o negócio se encontre, dessa maneira, o monitoramento e gestão contínua de gastos com combustível é uma forma de economizar e aumentar o retorno financeiro (CARVALHO et al., 2014).

Uma das principais variáveis do consumo é a operação do veículo em vias com estado de má conservação da pavimentação ou em ausência de pavimentação, o excedente ocasionado pode chegar até 5% para cada 100 km percorridos, uma vez que este resultado foi constituído pela comparação ao valor consumido em operação em trecho com a pavimentação bom estado de conservação (BARBOSA, 2021).

Outra variável relacionada com as condições operacionais é a relação rotação da árvore de manivelas, uma vez que o motor pode trabalhar em um número infinito de diferentes condições, sendo cada uma correspondente a uma rotação e um torque, onde esta combinação trata-se do modo de operação dos veículos proporcionando diferentes comportamentos a eficiência do motor, onde desta maneira pode ser desenvolvido mapas de rendimento (REIS, 2018).

Assim, ao se fazer uma análise isolada de motores e variáveis operacionais, entende-se o comportamento de cada motor com a variação da rotação quanto a potência, torque e rendimento. Por isso, torna-se muito importante o desenvolvimento destas análises, pois, é possível compreender a influência das variáveis de consumo e como a alteração de cada uma delas pode influenciar e elevar a eficiência de consumo de combustível. (ANDRADE, 2017).

## 2.4 Funcionamento de bombas

Bombas hidráulicas, são peças chaves em um sistema hidráulico, pois, elas são caracterizadas pela conversão da energia mecânica em energia hidráulica no momento em que impulsionam o fluido de um sistema a outro (SACHET, 2021).

Dentre a classificação das bombas hidráulicas existem as centrífugas e as de deslocamento positivo. As centrífugas forneçam continuamente energia ao fluido através de um rotor, que rotaciona com alta velocidade fornecendo energia cinética ao fluido que posteriormente é convertida em energia de pressão (LINS et al., 2019).

Já as de deslocamento positivo são máquinas geratrizes que geram um trabalho mecânico através de um motor e transformam esse trabalho em energia hidráulica, possuindo uma relação inversa entre vazão e a pressão, ou seja, quanto maior for a pressão gerada na câmara, menor será a vazão requerida pela bomba (SOARES, 2021).

Atualmente, a bomba centrífuga se posiciona como peça importante no cotidiano com o uso bem variado, indo desde o bombeamento de água de piscinas a uma bomba de óleo responsável por abastecer outros veículos através da transferência do óleo diesel de um sistema para outro (LINS et al., 2019).

A rotação destas bombas é um fator significativo para o desempenho operacional dos caminhões tanque e para o consumo de combustível, pois, quanto maior a rotação maior será a capacidade operacional. A bomba centrífuga de um caminhão tanque quando adaptada a tomada de força do veículo, apresenta para cada rotação ou pulsação uma quantidade de produto deslocado, onde a descarga é proporcional à velocidade do propulsor. (CARVALHO FILHO, 2000; PETERSEN, JACOBY, 2007)

Para que ocorra a rotação e conseqüentemente o acionamento da bomba é necessário que a tomada de potência seja capaz de transferir a potência suficiente ao eixo da bomba, assim, o desempenho da TDP é uma forma indireta de verificar o desempenho do motor, permitindo ensaios e determinações de consumos específicos em determinados pontos de funcionamento do motor (PAIVA, 2018).

### 3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma empresa situada no município de Guariba - SP, utilizando dois caminhões comboio ano 2018, modelo Mercedes Atego 2730, com motor MB OM 926 LA, 6 cilindros verticais em linha, turbocooler de 7,2L como apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Caminhões Comboio Atego 2730.



Fonte: Do autor (2022).

Os dois caminhões comboio utilizados, foram conduzidos por 6 motoristas, sendo 3 em cada veículo, tendo em vista que a operação ocorre diariamente, durante 24 horas, e cada turno de trabalho tem duração de 7 horas. Como os motoristas são fixos em cada turno e caminhão, foram orientados a seguirem uma forma de condução padronizada, através de uma reunião, como apresentada na Figura 2, onde a rotação durante o deslocamento do veículo deveria se manter nas faixas econômicas entre 1100 até 1800 rpm. O monitoramento das operações foi realizado por meio de equipamentos de telemetria instalados neles, diariamente verificava-se as rotações excessivas, ou seja, aquelas fora da faixa indicada a cada condutor.

Figura 2 - Orientação da equipe quanto a condução.



Fonte: Do autor (2022).

Para as análises e identificação da melhor eficiência de trabalho e consumo em cada rotação, foram regulados os botões de aceleração manual dos veículos, de maneira que a bomba operasse nas rotações definidas, durante o abastecimento dos equipamentos em campo.

As rotações estudadas foram de 1100, 1300 e 1500 rpm, sendo analisadas durante o período de 14 dias, assim, os dados de consumos foram levantados. Além disso, os abastecimentos programados foram seguidos com exatidão, para que não ocorressem atrasos ou falta de abastecimento. Na Figura 3 está apresentado o posto de abastecimento dos caminhões comboios da unidade.

Figura 3 - Posto de abastecimento da unidade.



Fonte: Do autor (2022).

As vazões de combustível transferidas pela bomba do caminhão comboio (em l/s), foram mensuradas no campo, durante o abastecimento dos equipamentos pelo caminhão. O volume foi fornecido automaticamente pelo bloco volumétrico, apresentado na Figura 4, sendo o componente responsável pelo cálculo da quantidade de combustível

desprendida pelo comboio durante o abastecimento, conforme a Figura 5. Desta forma, realizou-se a leitura manual do valor fornecido em litros pelo bloco. Simultaneamente, o tempo gasto em segundos para este abastecimento foi cronometrado por meio de um cronometro digital, coletando medidas desde o momento em que se iniciou o preenchimento dos tanques dos equipamentos, até o travamento automático do bico de combustível, quando o mesmo foi preenchido por completo.

Figura 4 – Bloco volumétrico e sistema de descarga de combustível.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 5 - Abastecimento de equipamentos pelo caminhão comboio.



Fonte: Do autor (2022).

A coleta das vazões ocorreu com as três rotações analisadas (1100rpm, 1300rpm e 1500rpm). Em cada rotação, houve a aferição da vazão com 10 repetições, para que

houvesse maior assertividade e evitassem possíveis erros durante a cronometragem do tempo em segundos. A partir destes valores realizou-se uma média aritmética da vazão em l/s obtidos em cada rotação. O cálculo da vazão está representado pelas equações 1 e 2.

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

Q: vazão (litros/segundo);

V: volume de combustível (litros);

T: tempo gasto para o abastecimento (segundos).

$$Q_{média} = \frac{\sum Q}{N} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

$\sum Q$ : somatório da vazão de cada rotação (litros/segundo);

N: número de repetições

O volume de combustível consumido pelo cavalo mecânico foi calculado a cada passagem do veículo pelo posto de abastecimento. O frentista, a cada passagem realizou a inserção do bico de abastecimento no tanque do cavalo mecânico, houve o acionamento do gatilho e ao preencher completamente o tanque houve o travamento automático da bomba. Com isso, o volume inserido em litros, foi contabilizado pelo bloco volumétrico do posto e esta informação adicionada ao sistema de controle da empresa. Posteriormente, a mesma foi utilizada para o cálculo do consumo em l/Km.

A quilometragem percorrida por cada comboio o frentista coletou através do hodômetro do caminhão e a inseriu no sistema de controle da empresa. Posteriormente o cálculo da distância percorrida foi realizado por meio da equação 3.

$$D = Km_f - Km_i \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

D: distância percorrida pelo veículo (quilômetros);

Kmf: hodômetro final do veículo (quilômetros);

Kmi: hodômetro inicial do veículo (quilômetros).

Desta maneira, a partir do volume de combustível consumido e o resultado da distância percorrida pelo veículo, obtida na equação 3, foi realizado o cálculo do consumo de combustível dos caminhões, nas 14 medições para cada vazão em rpm, por meio da equação 4.

$$C = \frac{V}{D} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

C: consumo de combustível do veículo (L/Km);

V: volume de combustível consumido (L);

D: distância percorrida pelo veículo (Km).

O reservatório de combustível, localizado no implemento que se encontrava acoplado ao cavalo mecânico, também teve seu tanque preenchido por completo, utilizando-se o mesmo procedimento descrito para a recarga do tanque do veículo durante cada passagem pelo posto. Desta maneira, ao se deslocarem, os dois caminhões em estudo foram colocados sob as mesmas condições operacionais, onde o tanque de combustível do caminhão comboio e reservatório do implemento estavam completamente cheios ao iniciar as operações.

Os dados de abastecimento dos equipamentos de campo que foram realizados pelos caminhões comboio, foram obtidos pelo sistema de gerenciamento da empresa, onde estes representam o volume total de combustível que foi fornecido aos equipamentos em cada turno de trabalho. Esta informação foi necessária para que o estudo da vazão de combustível atendesse a demanda mais crítica, caracterizada pelo turno de maior número de abastecimento, sem prejudicar o tempo com deslocamento do caminhão e o procedimento operacional padrão, enquadrando no período de 7 horas.

Vale salientar que a companhia possui um procedimento operacional padrão para a execução de abastecimento dos equipamentos, sendo este procedimento composto por etapas obrigatórias para que a segurança seja prioridade ao executar a operação. Por ser uma tarefa padrão, repetitiva e imutável, este tempo foi considerado com fixo para cada abastecimento. Portanto, o tempo de deslocamento dos caminhões foi coletado pelo sistema de monitoramento instalado em cada veículo, assim, através das informações fornecidas pelo sistema de localização é possível obter o tempo médio de deslocamento dos caminhões em um espaço de tempo desejado, em que no presente trabalho foi de 14 dias.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão representados os resultados da demanda de combustível dos equipamentos.

Tabela 1 - Volume de combustível abastecido em um turno de trabalho com demanda crítica, por caminhão.

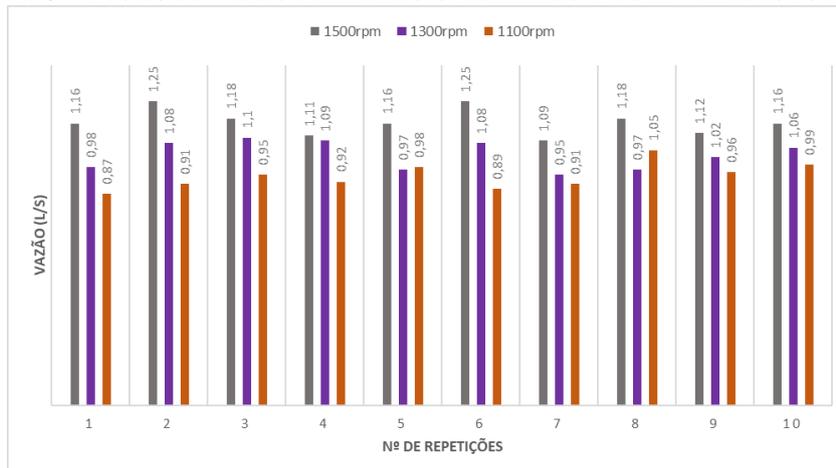
<b>Equipamento</b>	<b>Volume (L)</b>
Colhedora 1	457,80
Colhedora 2	439,40
Colhedora 3	476,50
Trator 1 - colheita	227,30
Trator 2 - colheita	241,90
Trator 3 - colheita	209,10
Trator 4 - colheita	269,70
Trator 5 - colheita	187,60
Trator 6 - colheita	165,30
Trator 1 - preparo	379,60
Trator 2 - preparo	457,40
Trator 1 - herbicida	269,80
Trator 2 - herbicida	248,70
Caminhão 1 - herbicida	70,80
Caminhão 2 - herbicida	101,40
<b>Total</b>	<b>4202,30</b>

Fonte: Do autor (2022).

Foi possível verificar que a quantidade máxima de equipamentos abastecidos em um turno, ou seja, em 7h, corresponde a 4202,30L de combustível. Assim, evidenciou-se que estes valores se referem a demanda mais crítica que os caminhões comboio supriram a cada turno de trabalho.

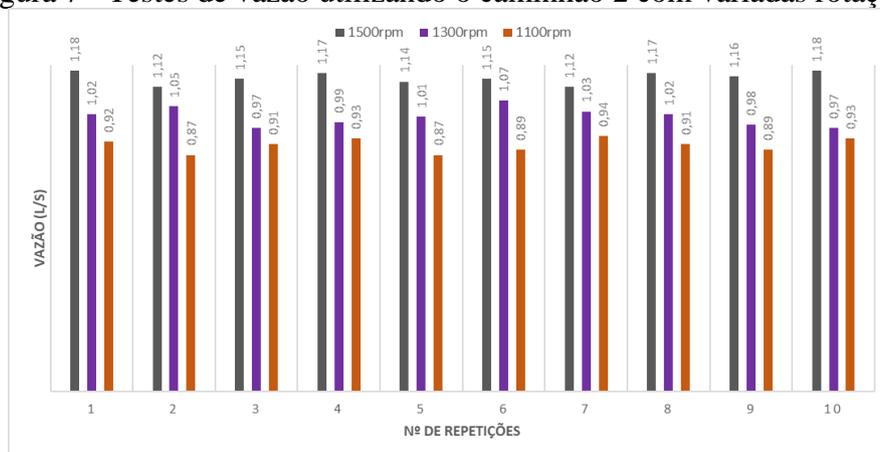
Nas figuras 6 e 7 estão apresentados os resultados das medições, feitas em 10 repetições, referentes aos testes de vazão do combustível em cada caminhão comboio até os equipamentos, nas rotações de 1500rpm, 1300rpm e 1100 rpm.

Figura 6 - Testes de vazão utilizando o caminhão 1 com variadas rotações.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 7 - Testes de vazão utilizando o caminhão 2 com variadas rotações.



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com as figuras apresentadas, observa-se uma variação da vazão de 0,87 a 1,05L/s e 0,87 a 0,94L/s para rotação de 1100 rpm, 0,95 a 1,08L/s e 0,95 a 1,07L/s para a rotação de 1300 rpm, 1,09 a 1,25L/s e 1,12 a 1,18L/s para a rotação de 1500rpm, nos caminhões 1 e 2, respectivamente. A vazão de um sistema de transferência de combustível para outro é um fator importante a ser avaliado, já que está influencia na eficiência da base de distribuição, podendo gerar maiores tempos de carregamento se for baixa (PEREIRA, 2021).

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios das vazões obtidas após os testes utilizando as variadas rotações por minuto em cada caminhão comboio.

Tabela 2 - Média das vazões calculadas no período de testagem dos caminhões 1 e 2 utilizando variadas rotações.

<b>Veículo</b>	<b>Vazão em 1100 rpm (L/s)</b>	<b>Vazão em 1300 rpm (L/s)</b>	<b>Vazão em 1500 rpm (L/s)</b>
<b>Caminhão 1</b>	0,94	1,03	1,17
<b>Caminhão 2</b>	0,91	1,01	1,15

Fonte: Do autor (2022).

A maior vazão média obtida foi na rotação de 1500rpm, com 1,17 L/s no caminhão 1 e 1,15L/s no caminhão 2. A partir das vazões médias, realizou-se a estimativa do tempo total gasto para abastecer os equipamentos, no valor correspondente a demanda crítica de 4202,30L de combustível. Desta forma, nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os tempos de abastecimento gasto em minutos por cada caminhão, utilizando as rotações testadas.

Tabela 3 - Análise do tempo operacional da bomba de combustível do caminhão 1 operando sob diferentes rotações.

<b>Equipamento</b>	<b>Volume abastecido (L)</b>	<b>Tempo em 1100 rpm (min)</b>	<b>Tempo em 1300 rpm (min)</b>	<b>Tempo em 1500 rpm (min)</b>
Colhedora 1	457,80	8,12	7,41	6,52
Colhedora 2	439,40	7,79	7,11	6,26
Colhedora 3	476,50	8,45	7,71	6,79
Trator 1 - colheita	227,30	4,03	3,68	3,24
Trator 2 - colheita	241,90	4,29	3,91	3,45
Trator 3 - colheita	209,10	3,71	3,38	2,98
Trator 4 - colheita	269,70	4,78	4,36	3,84
Trator 5 - colheita	187,60	3,33	3,04	2,67
Trator 6 - colheita	165,30	2,93	2,67	2,35
Trator 1 - preparo	379,60	6,73	6,14	5,41
Trator 2 - preparo	457,40	8,11	7,40	6,52
Trator 1 - herbicida	269,80	4,78	4,37	3,84
Trator 2 - herbicida	248,70	4,41	4,02	3,54
Caminhão 1 - herbicida	70,80	1,26	1,15	1,01
Caminhão 2 - herbicida	101,40	1,80	1,64	1,44
<b>Total</b>	<b>4202,30</b>	<b>74,51</b>	<b>68,00</b>	<b>59,86</b>

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 4 - Análise do tempo operacional da bomba de combustível do caminhão 2 operando sob diferentes rotações.

<b>Equipamento</b>	<b>Volume abastecido (L)</b>	<b>Tempo em 1100 rpm (min)</b>	<b>Tempo em 1300 rpm (min)</b>	<b>Tempo em 1500 rpm (min)</b>
Colhedora 1	457,80	8,38	7,55	6,63
Colhedora 2	439,40	8,05	7,25	6,37
Colhedora 3	476,50	8,73	7,86	6,91
Trator 1 - colheita	227,30	4,16	3,75	3,29
Trator 2 - colheita	241,90	4,43	3,99	3,51
Trator 3 - colheita	209,10	3,83	3,45	3,03
Trator 4 - colheita	269,70	4,94	4,45	3,91
Trator 5 - colheita	187,60	3,44	3,10	2,72
Trator 6 - colheita	165,30	3,03	2,73	2,40
Trator 1 - preparo	379,60	6,95	6,26	5,50
Trator 2 - preparo	457,40	8,38	7,55	6,63
Trator 1 - herbicida	269,80	4,94	4,45	3,91
Trator 2 - herbicida	248,70	4,55	4,10	3,60
Caminhão 1 - herbicida	70,80	1,30	1,17	1,03
Caminhão 2 - herbicida	101,40	1,86	1,67	1,47
<b>Total</b>	<b>4202,30</b>	<b>76,97</b>	<b>69,34</b>	<b>60,90</b>

Fonte: Do autor (2022).

Nota-se que com o incremento das rotações por minuto, houve a diminuição do tempo de abastecimento para todos abastecimentos. Este fato já era esperando tendo em vista que a vazão é diretamente proporcional a velocidade (SOUZA, 2014).

O procedimento operacional padrão para a execução do abastecimento dos equipamentos, por ser composto de etapas já padronizadas pela empresa, é realizado no tempo médio de 5 min por equipamento. Tendo em vista que ao longo de um turno de trabalho há um tempo gasto no abastecimento do caminhão e nos deslocamentos até as fazendas, além do operacional padrão, foi calculado o tempo total gasto na demanda mais crítica, em cada rotação testada, e apresentado na tabela 5.

Tabela 5 - Análise do tempo operacional total demandado por cada caminhão em relação a cada rotação estudada.

<b>Veículo</b>	<b>Tempo Deslocamento (min)</b>	<b>Tempo Procedimento Operacional (min)</b>	<b>Tempo em 1100 rpm (min)</b>	<b>Total (min)</b>
<b>Caminhão 1</b>	258	75	74,51	407,51
<b>Caminhão 2</b>	237	75	76,97	388,97

<b>Veículo</b>	<b>Tempo Deslocamento (min)</b>	<b>Tempo Procedimento Operacional (min)</b>	<b>Tempo em 1300 rpm (min)</b>	<b>Total (min)</b>
<b>Caminhão 1</b>	258	75	68,00	401,00
<b>Caminhão 2</b>	237	75	69,34	381,34

<b>Veículo</b>	<b>Tempo Deslocamento (min)</b>	<b>Tempo Procedimento Operacional (min)</b>	<b>Tempo em 1500 rpm (min)</b>	<b>Total (min)</b>
<b>Caminhão 1</b>	258	75	59,86	392,86
<b>Caminhão 2</b>	237	75	60,90	372,90

Fonte: Do autor (2022).

De acordo com os resultados encontrados pode-se observar que a estimativa do tempo de abastecimento juntamente com o tempo gasto em deslocamento e procedimento operacional, proporcionou um cruzamento de dados, já que os somatórios dos valores não poderiam exceder 420 minutos, ou seja, 7h de um turno de trabalho, atendendo a demanda mais crítica durante este período, de 15 equipamentos.

Assim, por meio dos resultados identificou-se que o aumento das rotações afetou diretamente no tempo total gasto pelos caminhões 1 e 2, que variam de 407,51 min (6hrs e 48min) e 388,97 (6hrs e 29min) para a rotação de 1100 rpm, e 392,86 (6hrs e 33min) e 372,90 (6hrs e 13min) para a rotação de 1500 rpm. Apesar de todas as rotações utilizadas enquadrarem no tempo máximo permitido de 7h, para atendimento da demanda crítica, mantendo viável a logística de abastecimento, o consumo de combustível também foi avaliado, a fim de atender a meta estabelecida pela empresa e a eficiência energética do sistema.

A eficiência energética está relacionada a ações que diminuam o consumo de energia necessária para atender as demandas do transporte e dos processos de um sistema, a partir do gerenciamento eficaz dos recursos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Na tabela 6 e 7 estão representados os resultados do consumo de combustível do caminhão 1 e 2 utilizando as rotações de 1100 rpm, 1300 rpm e 1500 rpm durante os abastecimentos e os deslocamentos percorridos dentro da faixa econômica do veículo, durante o período dos testes que corresponderam a 14 dias. E nas figuras 8 e 9 estão apresentados os consumos médios utilizando cada uma das rotações testadas de abastecimento comparando-os com a meta de consumo da empresa sendo está de 0,46 L/Km.

Tabela 6 - Consumo do caminhão 1 no período de testes referente a interferência das rotações estudadas.

<b>Repetição</b>	<b>Consumo em 1100 rpm (L/Km)</b>	<b>Consumo em 1300 rpm (L/Km)</b>	<b>Consumo em 1500 rpm (L/Km)</b>
<b>1</b>	0,37	0,45	0,52
<b>2</b>	0,39	0,47	0,50
<b>3</b>	0,44	0,50	0,51
<b>4</b>	0,46	0,50	0,49
<b>5</b>	0,46	0,49	0,51
<b>6</b>	0,43	0,43	0,51
<b>7</b>	0,41	0,49	0,48
<b>8</b>	0,47	0,47	0,48
<b>9</b>	0,42	0,47	0,50
<b>10</b>	0,46	0,50	0,49
<b>11</b>	0,44	0,46	0,47
<b>12</b>	0,45	0,47	0,51
<b>13</b>	0,41	0,48	0,48
<b>14</b>	0,46	0,42	0,52
<b>Média</b>	<b>0,43</b>	<b>0,47</b>	<b>0,50</b>

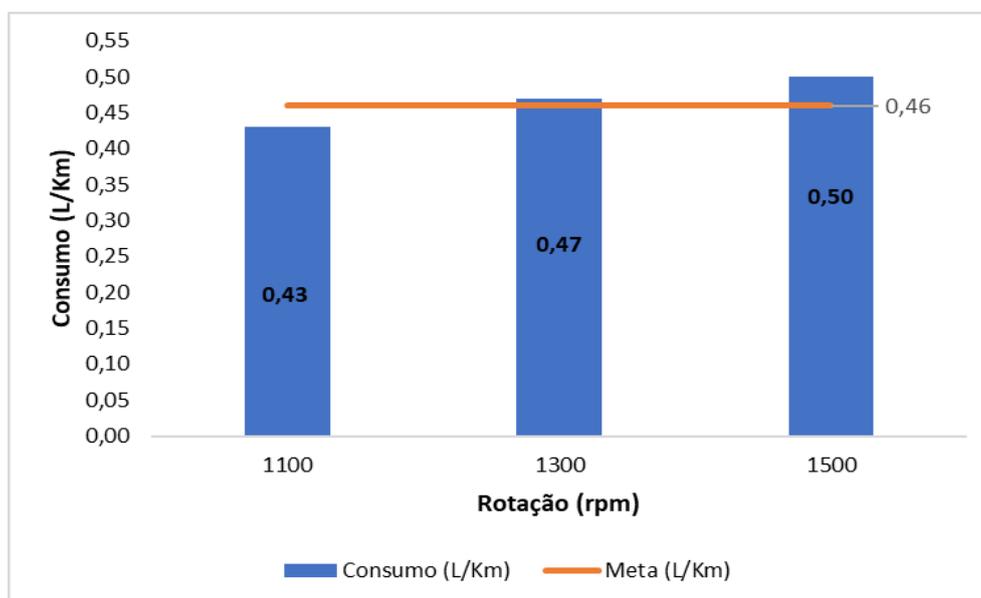
Fonte: Do autor (2022).

Tabela 7 - Consumo do caminhão 2 no período de testes referente a interferência das rotações estudadas.

Repetição	Consumo em 1100 rpm (L/Km)	Consumo em 1300 rpm (L/Km)	Consumo em 1500 rpm (L/Km)
1	0,48	0,50	0,51
2	0,50	0,49	0,52
3	0,47	0,50	0,50
4	0,47	0,48	0,54
5	0,43	0,50	0,51
6	0,46	0,49	0,52
7	0,43	0,50	0,51
8	0,48	0,48	0,50
9	0,42	0,47	0,57
10	0,47	0,47	0,53
11	0,44	0,48	0,48
12	0,47	0,51	0,48
13	0,46	0,49	0,55
14	0,45	0,48	0,51
<b>Média</b>	<b>0,46</b>	<b>0,49</b>	<b>0,52</b>

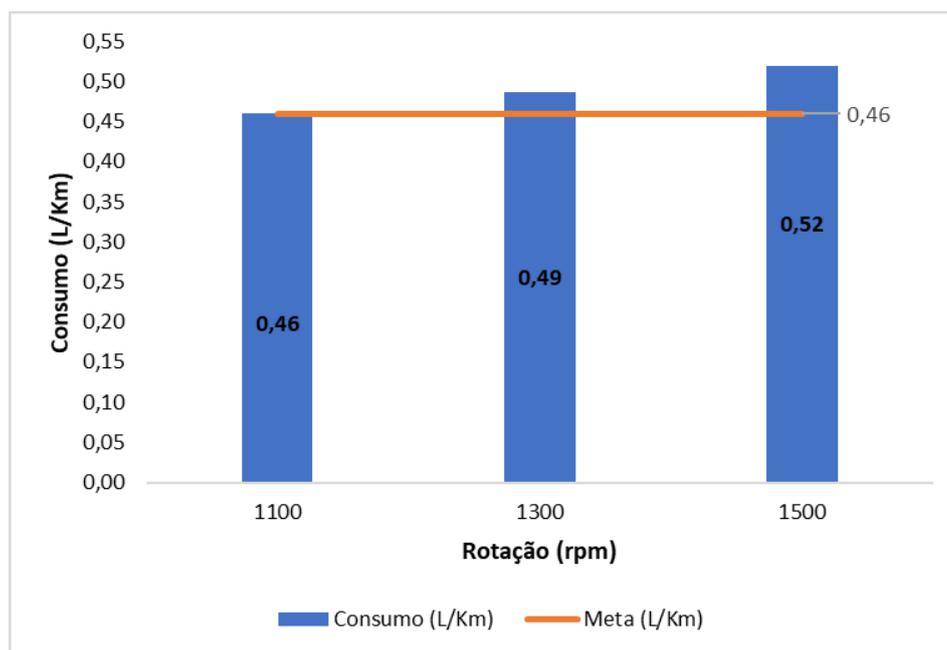
Fonte: Do autor (2022).

Figura 8 - Média de consumo do caminhão 1 no período de testes.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 9 - Média de consumo do caminhão 2 no período de testes.



Fonte: Do autor (2022).

Com os resultados obtidos pode-se observar que conforme houve aumento na rotação por minuto durante os abastecimentos em todos os tratamentos, obteve-se aumento no consumo de combustível. O maior valor encontrado foi na rotação de 1500 rpm apresentando os valores de consumo de 0,50 L/km no caminhão 1 e 0,52 L/Km no caminhão 2. A utilização de menores rotações leva a diminuição do consumo, que tem como benefício menor custo operacional relacionado ao gasto energético, pelo fato dos equipamentos exigirem menor capacidade operacional em relação a sua capacidade máxima de rotação por minuto (MARTINS et al., 2018). Este fato corroborou para que o consumo com 1100 rpm se enquadrasse na meta mensal de consumo de combustível determinada pela companhia.

Segundo DAPPER et al. (2020), o uso eficiente de energia se dá por meio da otimização de processos produtivos e quando seu emprego é mantido ou diminuído, ocorrendo o incremento da produtividade de bens e serviços. O decréscimo do consumo de combustível, contribui para a sustentabilidade do sistema e para eficácia da gestão dos recursos pela empresa.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que quanto maior a rotação por minuto, menor o tempo de abastecimento para todos abastecimentos, então a melhor rotação para suprir de forma mais ágil a quantidade de combustível fornecida em espaço de tempo necessária para atender a demanda crítica por turno foi de 1500 rpm. No entanto, isso acarretou a um maior consumo em l/Km de cada veículo, aumentando assim, o gasto operacional da empresa com a operação. Portanto, conclui-se que para ambos os caminhões comboios a melhor rotação de abastecimento foi a de 1100 rpm, que apresentou menor consumo de combustível em l/Km correspondeu a 1100 rpm e uma boa relação de tempo gasto na operação de abastecimento.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F. Políticas públicas compensatórias para a mecanização do corte de cana crua: indo direto ao ponto. **RURIS (Campinas, Online)**, v. 3, n. 1, 2009.
- ANDRADE, G. M. S. D. **Modelo didático completo de integração motor/motocicleta: análise de consumo e de performance**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- BARBOSA, B. V. D. A. Custos operacionais associados à qualidade dos pavimentos rodoviários. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, 2021.
- BERTOZO, L. F. R., MODOLO, D. L. Aplicação da metodologia de pareto para a redução de custo na troca de turno do comboio nas usinas. Universidade Estadual Paulista - Campus de Bauru, 2018.
- CASTRO, N. R., GILIO, L., MACHADO, G. C. Impactos da mecanização na produtividade agrícola agregada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2007 a 2013. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, 2021.
- DAPPER, P. V.; TOMÉ, B. P.; ZANATTA, J. M. Eficiência energética: estudo de caso em agroindústria do Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e41922042-e41922042, 2020.
- FERRAZ, D., OLIVEIRA, F. C. R. D., REBELATTO, D. A. D. N., & PYKA, A. Mecanização na produção de cana-de-açúcar e outras atividades agrícolas: uma análise econométrica do emprego e da renda. **Gestão & Produção**, v. 28, n. 4, 2021.
- LEITE, L. G. Análise de viabilidade técnica de uma bomba hidráulica compacta de deslocamento positivo, de pistão axial de dupla ação, acionada por tomada de força de um trator. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção), Instituto de Engenharias Integradas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2020.
- LEOCADIO, L. G. E. O uso do controle estatístico de processo para avaliação do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas: um estudo de caso. Especialização em Logística Estratégica. Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.
- LIMA, J. R. T. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar: o que nos revelam os especialistas do setor sobre as motivações e impeditivos da sua adoção na realidade canavieira de Alagoas? **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 219-246, 2021.
- LINS, T., JUNIOR, S., DA SILVA, L. M. V., JUNIOR, I. M. P. BOMBAS E SUAS APLICAÇÕES PARA AS ENGENHARIAS. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 5, n. 2, p. 223-223, 2019.
- MARTINS, A. P., F JUNIOR, C., AMARAL, E., SILVA, S., FARIAS, W. Gestão da eficiência energética e sustentabilidade: um estudo de caso na Kicaldo e Lanza Transportes. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Goiânia, 2018.

MENDES, M. L. **Valoração de tecnologias fora de ciclo quanto ao consumo de combustível**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional De Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

MURTA, B. J. Impacto do estilo de condução no consumo de combustível e nas emissões veiculares. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

NANNI, B. B. Estudo da minimização do consumo de combustível em comboio de veículos pesados por meio da otimização dos perfis de velocidade. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2020.

NIDEJELSKI, D. M. Projeto de um sistema de controle de combustíveis em tanques de armazenamento utilizando microcontrolador arduíno. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática. Curso de Ciência da Computação: Ênfase em Ciência da Computação: Bacharelado. 2018.

NOVO, A. L. A. Perspectivas para o consumo de combustível no transporte de carga no Brasil: uma comparação entre os efeitos estrutura e intensidade no uso final de energia do setor. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2011.

OLIVEIRA, K. A. D. Análise de riscos no transporte de produtos perigosos. 2016.

Paiva, P. H. Alteração do ponto de injeção no desempenho de um motor agrícola operando com biocombustíveis. 2018.

PEREIRA, D. T. Seleção de bomba para tubulação em uma distribuidora de combustíveis, aplicado diretamente no biodiesel. 2021. 31 f. Trabalho Final de Graduação (Engenheiro Mecânico). Curso de Engenharia Mecânica. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021.

PORCINO, D. G., DE SOUZA, E. R. A importância da contabilidade de custos como instrumento gerencial: e um estudo de caso em uma agroindústria canavieira. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, 2021.

RAMOS, M. C. D. F. A influência do perfil de perdas na melhoria da confiabilidade dos comboios misto e diesel no setor de Equipamentos Convencionais e Empilhadeiras em uma empresa mineradora. 2020.

REIS, A. F. R. D. **Estudo da variação dos eventos das válvulas no motor Etorq Evo 1.6**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

RODRIGO, W. S. F. J. P., DE SOUZA, V. D. C. V., COSTA, O. E. F. A. Utilização da telemetria embarcada para gerenciamento do abastecimento de caminhões de grande porte na mineração. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 2, p. 189-195, 2019.

SACHET, F. B. Análise cinemática virtual das extensões de lança de um guindaste articulado. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica. Universidade de Caxias do Sul, 2021.

SCHEIDL, H. S. A., SIMON, A. T. Avaliação do processo de terceirização do corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 33, p. 103-118, 2012.

SOARES, F. R. Sistema de tratamento de falhas para bombas de deslocamento positivo: o caso de uma empresa do setor de mineração. 2021.

SOLER, C. A. F., SILVA, W. M., MILAN, W. W. Análise de processos de uma empresa do ramo sucroalcooleiro do triângulo mineiro: estudo de caso para redução do consumo de combustível no serviço de transporte. **UNIFUNEC - Científica Multidisciplinar**, v. 9, n. 11, p. 1-18, 2020.

SOUZA, P. H. A. I. Apresentação dos Cálculos para Seleção de Bomba para Sistema de Reaproveitamento de Água de Poços Artesianos. 2014. 76f. Trabalho Final de Graduação (Engenheiro Mecânico). Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

ZANETTI, A. P., FERREIRA, R. L. RCA/PCA unificados. 2017.

ZANGIROLAMO, A., DE SOUZA, Y. R. F., FRANCISCATO, L. S., CORRER, I. Implementação de plano de ação visando aumento na qualidade da coleta de dados dos indicadores de desempenho. **Produção em Foco**, v. 8, n. 3, 2018.