



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Levantamento das curvas de isoconsumo do motor de trator agrícola

Victor Scaliante dos Santos

Campinas - SP

2020



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Levantamento de curva de desempenho e isoconsumo de motor de trator agrícola

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: Prof. Dr. Daniel
Albiero.

Campinas - SP

2020

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

Santos, Victor Scaliante dos, 1995-
Sa59L Levantamento das curvas de isoconsumo de motor de trator agrícola / Victor Scaliante dos Santos. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

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

1. Avaliação de desempenho. 2. Tratores. 3. Tratores agrícolas. 4. Tratores - Motores. 5. Energia. I. Albiero, Daniel, 1975-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Survey of agricultural tractor engine isoconsumption curves

Palavras-chave em inglês:

Performance evaluation

Tractors

Agricultural tractors

Tractors - Engines

Energy

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Cezário Benedito Galvão

Angel Pontin Garcia

Data de entrega do trabalho definitivo: 17-08-2020



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Levantamento da curva de desempenho e isoconsumo do motor de tratores agrícolas

Victor Scaliante dos Santos

BANCA EXAMINADORA

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

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

.....
Dr. Cezário Benedito Galvão



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria Aparecida Scaliante dos Santos e Paulo Cesar dos Santos, por estarem sempre presentes ao longo desses anos intensos de graduação e a todos que fizeram parte deste ciclo .



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Daniel Albiero pela oportunidade de aprendizagem e desenvolvimento científico.

Ao Dr. Cezário Benedito Galvão pelo acompanhamento, pelas instruções, auxílio e ensinamentos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola Gabriel Cardoso pela experiência compartilhada e auxílio em atividades referentes a este trabalho.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à Faculdade de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso de graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida para a realização deste trabalho também como iniciação científica.

A todos os meus amigos de graduação pelas inúmeras adversidades superadas, pelo apoio, pelas experiências e por todo o carinho ao longo destes anos.

Aos meus pais, que sempre sempre acreditaram em mim e deram total apoio.

Resumo:

O consumo de combustível na produção agrícola representa parcela de grande significância sobre os custos totais de produção em todo o mundo, dado que os sistemas produtivos tendem a se mecanizar cada vez mais e, deste modo, faz-se necessário o estudo da melhor condição das operações agrícolas a fim de minimizar custos. Neste sentido, foram desenvolvidos procedimentos sob padronização de normas técnicas para direcionar como melhor se realizar testes em tratores sob diversas condições.

As curvas de potência, torque e consumo específico de motores são informações que podem ser utilizadas na visualização de sua performance operacional, permitindo a comparação entre as especificações técnicas atuais de um motor e suas características de fábrica.

O levantamento do consumo específico de um motor segue a normatização e é utilizado para construção da curva de isoconsumo do motor, a qual fornece informação que auxilia na visualização do perfil de consumo de um motor sob diferentes demandas de potência, pois obtêm-se dados de consumo que são utilizados para se traçar um perfil operacional do motor, e com isso torna-se possível recomendar o uso mais eficiente dos tratores agrícolas.

Tendo em vista esse contexto, este projeto visa a construção de curvas de isoconsumo de um trator agrícola MF265 da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, utilizando equipamentos pertencentes à oficina da faculdade, a fim de gerar e fornecer dados para que se possa determinar as características operacionais deste motor e garantir a reprodutibilidade dos testes em outros tratores. Para efeito comparativo, este trabalho também apresenta a construção das curvas de isoconsumo de um trator JD 7225j.

Abstract:

The fuel consumption in agriculture represents a very significant share of the production total costs over the world, since production systems tend to become increasingly mechanized, therefore, it's necessary to study energy loss on agricultural engines to minimize costs. In this sense, there are specific procedures under technical norms padronization that guide tractor's tests under different conditions.

Engine's torque, potency and fuel consumption curves are information that can be used to visualize its operational performance, making possible the comparison between an old engine's actual technical features and its original features provided by the manufacturer.

Obtaining an engine's specific consumption follows standard procedures and allows the construction of isoconsumption curves that provide information over the engine's consumption profile under different potency demands, for it obtains data which can be used to trace the engine's operation profile allowing the recommendation of efficient operation in terms of fuel usage.

In view of this context, this project aims to build isconsumption curves of an agriculture tractor from the School of Agricultural Engineering of UNICAMP, in order to provide data to determine the operational characteristics of the tractor's engine. As a matter of comparison, this project also presents the isoconsumption curves of a JD7225j tractor.

Sumário

Introdução	9
Justificativa	11
Objetivos	12
Objetivo Geral	12
Objetivos específicos	12
Materiais e Métodos	12
Resultados e discussão	19
Referências	32
Anexos	34

Introdução

Desde os eventos históricos das revoluções industriais dos séculos XIX e XX, o termo energia é uma das variáveis de maior impacto nos custos e receitas dos mais diversos meios de produção. Com o aumento da demanda energética devido às produções em grande escala, o incremento tecnológico é necessário e visa a melhoria contínua da eficiência do consumo energético, que se dá principalmente pela utilização de combustíveis derivados do petróleo, como gasolina e o diesel.

Os tratores agrícolas constituem hoje o alicerce da agricultura moderna e há a necessidade de se conhecer o desempenho real dos seus motores (FARIAS, 2014). Nesse sentido, a análise operacional procura desenvolver técnicas de previsão e controle das atividades, visando obter o máximo de rendimento útil de todos os recursos disponíveis (VALE, 2011).

O consumo de óleo diesel no Brasil exerce grande influência no desempenho da economia nacional, visto que a matriz de transportes do país é baseada no modal rodoviário, que faz com que haja forte correlação entre estas variáveis (IBP, 2016). Na produção agrícola, o diesel é muito importante devido ao alto consumo nas propriedades, que atinge 50 litros/ha para as culturas de milho e soja no Estado do Mato Grosso (IMEA, 2013).

O aumento no preço do diesel nos últimos anos levanta a preocupação de produtores rurais devido ao proporcional aumento da porcentagem do custo referente ao seu consumo, o qual teve, por exemplo, um aumento médio de 7,8% por hectare no ano de 2017 em relação ao ano anterior no estado de Goiás, num valor que alcançou, em média, 6,8% dos custos totais da produção agrícola no Estado (IFAG, 2017).

Segundo Cappelli (1990), um trator agrícola de rodas converte apenas 12% a 20% da energia gerada pela combustão de diesel em força líquida na barra de tração, portanto pouca eficiência na geração de trabalho útil para a atividade agrícola.

Para que se possa comparar características de diferentes motores e combustíveis em operação, são estabelecidos métodos descritos em normas técnicas de experimentação para pesquisa, como as normas prescritas pela Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Tais normas dispõem de procedimentos como os de levantamento da curva de isoconsumo de um motor, cuja composição se dá a partir da obtenção de curvas de potência, torque e consumo específico.

O conhecimento de parâmetros operacionais é necessário para se traçar o perfil de desempenho do motor e, no que se diz respeito ao trator agrícola, cada tipo de motor possui determinadas curvas de torque e potência que indicam torque e potência correspondentes a cada rotação do motor (FERREIRA 2001) e se pode definir estas características para um motor a diesel com a realização de ensaios dinamométricos (FARIAS, 2014).

Acerca do funcionamento do motor de trator agrícola, Almeida et al. (2010) citam que para que haja um aumento da velocidade de trabalho em pequenas proporções, o operador do maquinário deve elevar a rotação do motor. Ao longo deste processo, o torque tende a se elevar até atingir um valor máximo e depois tende a decrescer novamente conforme se eleva a rotação. Este comportamento pode ser observado graficamente através de uma curva com concavidade para baixo.

De acordo com Grisso et al. (2004), o método mais eficiente de se mensurar a eficiência energética de um trator é pelo levantamento do seu consumo específico volumétrico de combustível e, de acordo com Mialhe (1996), testes padronizados permitem comparações entre condições, regulagens de motores e entre equipamentos distintos.

Neste sentido, Bernardes (1997) afirma que procedimentos de verificação de potência na barra de transmissão seguindo a norma permite que se tenha uma visão geral do desempenho do trator sob condições escolhidas, de modo gerar globalização

de dados, a qual sugere resultados semelhantes para um mesmo trator sob diversos testes aplicados seguindo a norma.

Ainda segundo Bernardes (1997), uma curva de consumo de combustível é obtida pela relação entre o volume ou massa de combustível consumo pelo motor submetida a carga gerada pelo dinamômetro, obtendo-se consumo horário em massa ou volume por unidade de tempo. Destes dados, então, obtém-se o consumo específico do equipamento ao relacionar-se consumo horário com a potência desprendida pelo motor durante o teste.

A fim de se determinar características para comparação entre motores agrícolas, o levantamento das curvas de isoconsumo possibilita a determinação do comportamento do consumo horário de diesel com o motor operando em diferentes rotações.

A partir deste contexto, a proposta deste projeto é a de utilizar de procedimentos normatizados para levantamento das curvas de isoconsumo de um trator agrícola, no intuito de se obter características operacionais de um trator MF 265 da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp através das curvas de isoconsumo do motor do trator e compará-los às curvas de um trator JD 7225j.

Justificativa

Na produção agrícola, o diesel é muito importante devido ao alto consumo nas propriedades, que atinge 50 litros/ha para as culturas de milho e soja no Estado do Mato Grosso (IMEA, 2013) e o aumento no preço do diesel nos últimos anos levanta a preocupação de produtores rurais devido ao proporcional aumento da porcentagem do custo referente ao seu consumo, o qual teve, por exemplo, um aumento médio de 7,8% por hectare no ano de 2017 em relação ao ano anterior no estado de Goiás, num valor que alcançou, em média, 6,8% dos custos totais da produção agrícola no Estado (IFAG, 2017).

De acordo com Grisso et al. (2004), o método mais eficiente de se mensurar a eficiência energética de um trator é pelo levantamento do seu consumo específico volumétrico de combustível e, a fim de determinar características para comparação entre motores agrícolas, o levantamento das curvas de isoconsumo possibilita a determinação do comportamento do consumo horário de diesel com o motor operando em diferentes rotações.

Neste sentido, a construção do gráfico de isoconsumo do MF265 da Feagri poderá reduzir consumo de diesel em sua operação e a produção científica envolvida poderá auxiliar na reprodução do teste em outros tratores.

Objetivos

Objetivo Geral

O projeto tem como objetivo o levantamento das curvas de isoconsumo de um motor de trator agrícola.

Objetivos específicos

- Padronização dos procedimentos de montagem e realização dos testes utilizando dinamômetro;
- Determinação de consumo específico horário de diesel sob diferentes demandas de potência para diferentes rotações;
- Construção da curva de isoconsumo do trator agrícola.

Materiais e Métodos

A execução do projeto se dará de acordo com as normas da OECD em etapas envolvendo a instalação e calibração de todos os aparelhos de medição, até o

levantamento de dados suficientes para a construção das curvas de isoconsumo do motor do trator.

Os equipamentos a serem utilizados no projeto são:

- Trator agrícola MF 265;
- Trator Agrícola JD 7225j;
- Dinamômetro AW NEB400;
- Sensor de velocidade de rotação RED LION modelo MP62TA;
- Célula de carga da marca VINCERE DO BRASIL modelo ST500;
- Condicionador de sinal QUANTUM X; da HBM;
- Software de captação de dados CATMAN, também da HBM;
- Fluxômetro de massa construído na oficina da Feagri.
- Computador.

Figura 1: Foto do dinamômetro acoplado à TDP do trator MF265.



Figura 2: Fluxômetro de massa feito em oficina e utilizado nos testes.



Segundo o Code 2, da OECD, os parâmetros que devem ser mensurados durante os testes com dinamômetro são:

- Tempo de duração do teste (s);
- Rotação da TDP (rpm);
- Força na barra de tração do dinamômetro (kN);
- Consumo de combustível (g);
- Temperatura do combustível ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura e umidade relativa do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$ e %);
- Temperatura na saída de ar do trator ($^{\circ}\text{C}$).

Com estes valores registrados, devem ser calculados os seguintes valores referentes ao trabalho do motor:

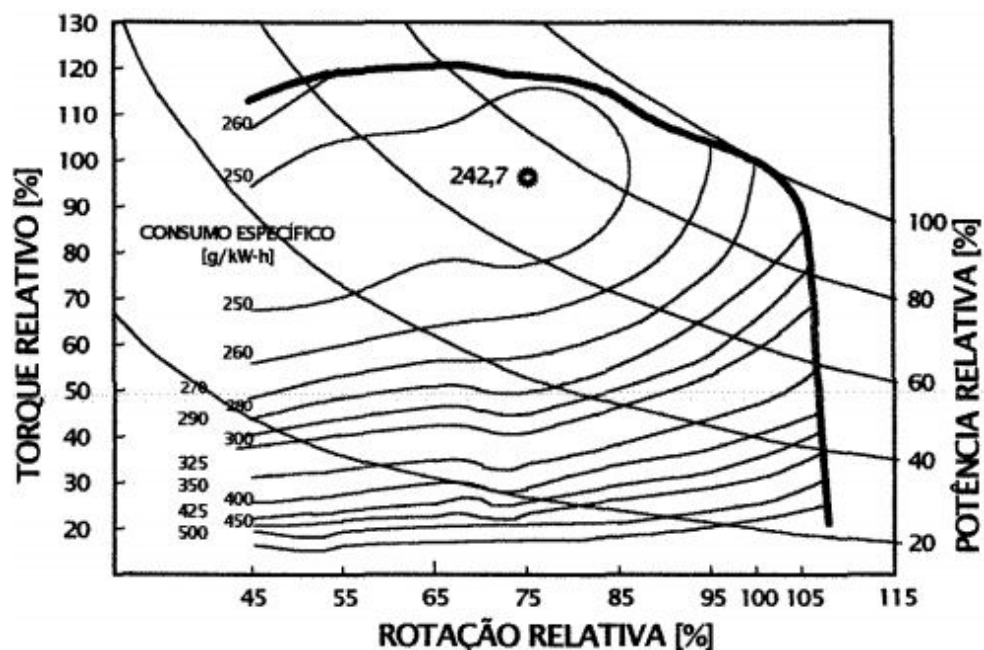
- Torque na barra de tração ($\text{kN}\cdot\text{m}$);
- Potência do motor (kW);
- Consumo específico horário de combustível (g/kWh).

Figura 3: Foto do teste e registro de dados.



Para o dar início às operações, deve-se ter definida a rotação nominal do motor, que é calculada a partir da curva de potência do mesmo e é a rotação na qual o motor utiliza sua potência máxima. A disposição gráfica desta curva junta às de torque, consumo específico e de isoconsumo estão representadas na curva modelo a seguir:

Figura 4: Curva de desempenho de um motor Diesel e curvas de Isoconsumo.



Fonte: Cappelli (1990).

Com a rotação nominal definida, serão registradas variações de torque e combustível em ensaios com o motor do trator trabalhando sob parciais de sua rotação nominal (95, 85, 75, 65, 55 e 45 por cento). O procedimento é feito após ser acoplada a TDP do trator ao freio do dinamômetro, o qual tem seu reservatório com água corrente vindo de uma mangueira a fim de resfriar o freio durante a operação. O início da coleta de dados se dá após estabilização da rotação do motor, a qual reduz conforme se amplia a frenagem no dinamômetro. Para que a rotação do motor se mantenha, é feita aceleração do mesmo após a redução. Este procedimento é realizado para cada teste dada faixa de rotação pretendida.

O dinamômetro e o fluxômetro têm os sensores de força, rotação e da balança de massa conectados ao decodificador de sinal, Quantum, junto a um notebook com o software Catman. Além destes dados, são registrados dados de temperatura e umidade do ar e a temperatura na saída de ar do trator durante os testes.

Tendo os dados salvos pelo software Catman, estes serão tratados em planilha de excel, segundo procedimentos de cálculo para se obter valores característicos de consumo específico horário, potência relativa e torque.

Conforme metodologia descrita no manual da OECD, o procedimento para construção de um gráfico de linhas de isoconsumo deve constituir-se de registros de variação de força na barra de tração do dinamômetro, rotação da tdp e consumo de diesel ao longo do tempo de baterias de testes. Com estes valores foram calculados valores médios para cada teste, sendo estes Torque (N*m), Potência (kW) e Consumo Específico (g/kWh). Estes valores foram obtidos utilizando os seguintes parâmetros técnicos: Braço = 0.333 m; Torque na Potência máxima = 692.3 Nm; Rotação nominal = 673.1 rpm; Potência máxima = 48.8 kW.; e as seguintes equações (1), (2), (3), (4) e (5):

$$(1) T \text{ (Nm)} = F \text{ (N)} * \text{braço (m)}$$

T: Torque gerado pela distância do ponto de aplicação da força na barra de tração e o eixo do dinamômetro;

F: força aplicada na barra de tração;

braço: comprimento da barra de tração entre o eixo do dinamômetro e célula de carga.

$$(2) P \text{ (kW)} = [(Rotação \text{ (rpm)} \cdot 2\pi / 60) T \text{ (Nm)}] / 1000$$

P: Potência desprendida pelo motor;

Rotação: Frequência de giro do motor do trator.

$$(3) CE \text{ (g/kWh)} = [\text{massa diesel (g)} / (P \text{ (kW)} \text{ tempo (s)})] \cdot 3600$$

CE: Consumo Específico, (taxa de consumo de massa de combustível por energia gerada ao longo do tempo);

Tempo: Duração do teste.

$$(4) TR = (T / T_{\max}) \cdot 100$$

TR: Percentual de torque relativo ao torque máximo da rotação nominal;

T_{max}: Torque máximo sob rotação nominal.

$$(5) RR = (Rotação / R_{\text{nom}}) \cdot 100$$

RR: Percentual de rotação relativa à rotação nominal do motor;

R_{nom}: Rotação nominal do motor.

Tendo obtidos os dados dos testes e calculadas as variáveis referentes ao desempenho do motor, é possível calcular as porcentagens de torque e rotação do motor em relação à sua rotação nominal e torque máximo sob rotação nominal, a fim de gerar visualizações gráficas da variação de consumo específico em função de percentual de torque para cada faixa de rotação definida em cada teste.

A partir dos pontos de consumo específico obtidos em função de percentual de torque, é possível obter valores de torque relativo em função de valores pré-definidos de consumo específico através de interpolação linear dos dados experimentais.

O modelo matemático para se realizar uma interpolação linear tem o seguinte formato da equação (6) :

$$(6) \quad y = y_0 + (y_1 - y_0) \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

Sendo descritos por y os valores de torque relativo e por x os valores de consumo específico. Com este procedimento é possível estimar valores de torque para valores predefinidos de consumo específico.

Deste modo, é possível construir as isolinhas de consumo específico que podem ser plotadas em um gráfico de percentuais de torque em função de rotação relativa .

Para construção do gráfico, serão fixadas isolinhas de consumo específico de 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, e 300 g/kWh.

Resultados e discussão

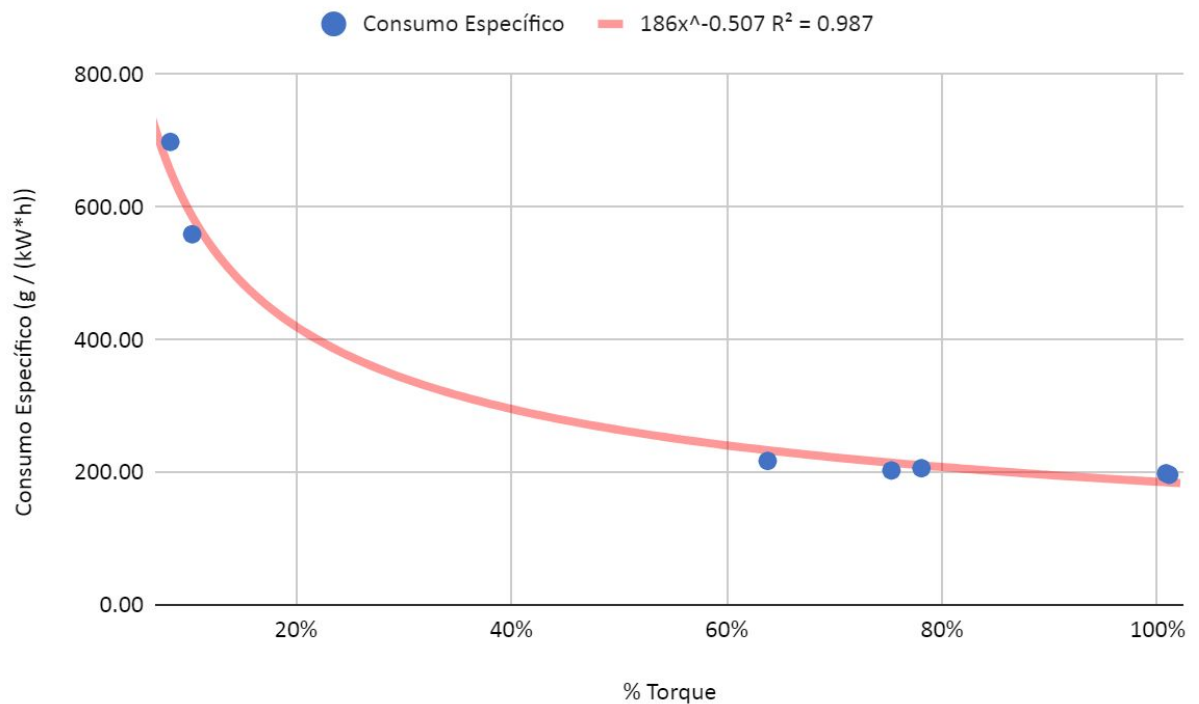
Com os testes, foram obtidos os valores médios descritos na tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Dados médios obtidos em cada teste dinamométrico para o trator MF265.

Nº Teste	Rotação (rpm)	% Rotação	Força (N)	Torque (Nm)	% Torque	Potência (kW)	Consumo (g)	Tempo (s)	Cons Esp (g/kWh)
1.1	660.56	98%	173.36	57.73	8%	3.99	204.80	264.38	698.35
1.2	652.27	97%	1326.51	441.73	64%	30.17	207.50	114.04	217.10
1.3	672.75	100%	1623.40	540.59	78%	38.08	207.26	95.04	206.14
1.4	682.86	101%	2095.64	697.85	101%	49.90	205.00	74.52	198.45
1.5	677.58	101%	2101.72	699.87	101%	49.66	206.50	76.32	196.15
1.6	673.06	100%	1565.43	521.29	75%	36.74	206.80	99.94	202.75
1.7	676.60	101%	215.62	71.80	10%	5.09	205.00	259.48	559.06
2.1	512.57	76%	1410.15	469.58	68%	25.21	207.90	340.72	87.15
2.2	507.38	75%	559.60	186.35	27%	9.90	153.30	165.26	337.28
2.3	511.26	76%	688.03	229.11	33%	12.27	154.60	146.76	309.16
2.4	513.08	76%	931.92	310.33	45%	16.67	157.20	123.74	274.29
2.5	512.63	76%	1408.86	469.15	68%	25.19	108.60	64.72	239.85
2.6	513.19	76%	1672.64	556.99	80%	29.93	129.90	65.74	237.65
2.7	511.98	76%	2039.38	679.11	98%	36.41	135.30	58.62	228.21
2.8	512.04	76%	2200.67	732.82	106%	39.29	151.81	60.92	228.30
3.1	457.92	68%	1341.01	446.56	65%	21.41	113.10	222.48	85.46
3.2	454.56	68%	419.98	139.85	20%	6.66	100.90	143.86	379.28
3.3	449.59	67%	524.36	174.61	25%	8.22	104.50	134.86	339.33
3.4	454.95	68%	646.37	215.24	31%	10.25	102.74	119.56	301.68
3.5	449.68	67%	938.84	312.63	45%	14.72	101.70	93.74	265.30
3.6	450.10	67%	1062.98	353.97	51%	16.68	103.50	85.34	261.69
4.1	390.43	58%	125.18	41.69	6%	1.70	99.20	251.50	833.14
4.2	391.69	58%	304.00	101.23	15%	4.15	100.70	197.58	441.88
4.3	395.15	59%	562.97	187.47	27%	7.76	100.50	147.76	315.64
4.4	396.34	59%	870.58	289.90	42%	12.03	103.85	115.94	267.99
4.5	393.57	59%	110.74	36.88	5%	1.52	117.00	107.12	2587.07
5.1	324.18	48%	109.26	36.38	5%	1.24	81.60	264.38	899.58
5.2	334.17	50%	137.85	45.91	7%	1.61	41.00	114.04	805.69
5.3	332.53	49%	311.95	103.88	15%	3.62	41.30	95.04	432.47
5.4	328.32	49%	614.46	204.61	30%	7.04	44.00	74.52	302.15
6.1	265.83	40%	95.93	31.94	5%	0.89	101.20	398.62	1027.82
6.2	268.88	40%	212.61	70.80	10%	1.99	102.70	338.52	547.87
6.3	273.14	41%	804.11	267.77	39%	7.66	102.30	167.88	286.41

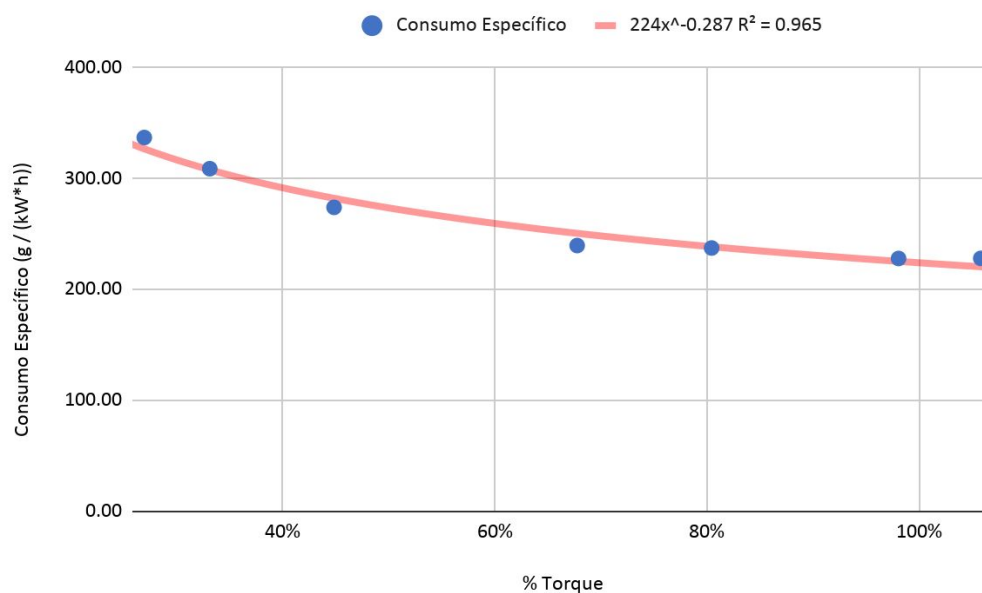
Com os dados calculados na Tabela 1, são obtidas curvas relacionando a variação de Consumo Específico em função da variação de torque para os testes de rotações referentes a 100%, 85%, 75%, 65%, 55% e 45% da rotação nominal do trator e estão dispostas nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10:

Figura 5. Curva de Consumo Específico do MF265 a 100% da rotação.



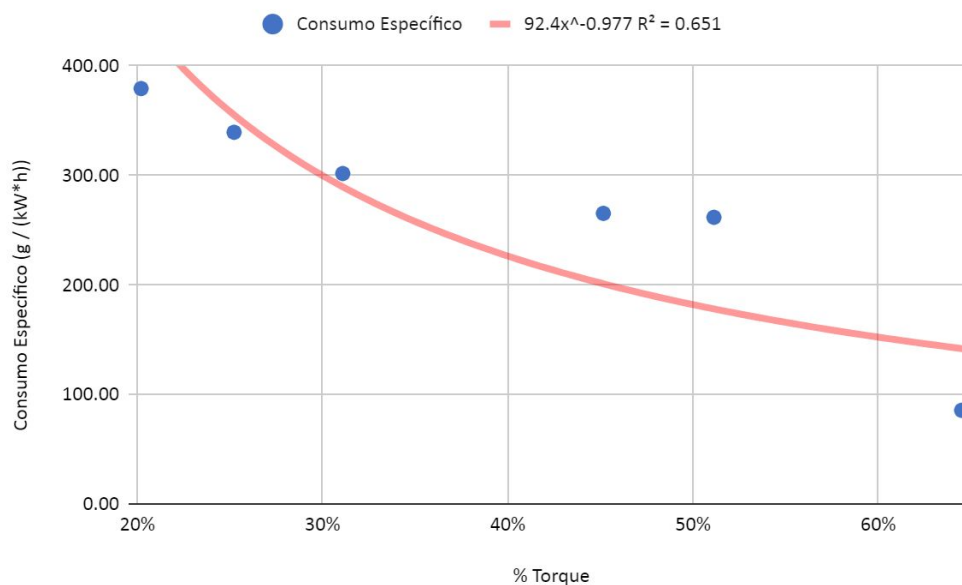
O curva de 100% rotação nominal demonstra o comportamento esperado, com redução substancial da taxa de consumo de massa de combustível por energia gerada ao longo do tempo conforme há elevação de torque gerado pelo motor.

Figura 6. Curva de Consumo Específico do MF265 a 80% da Rotação



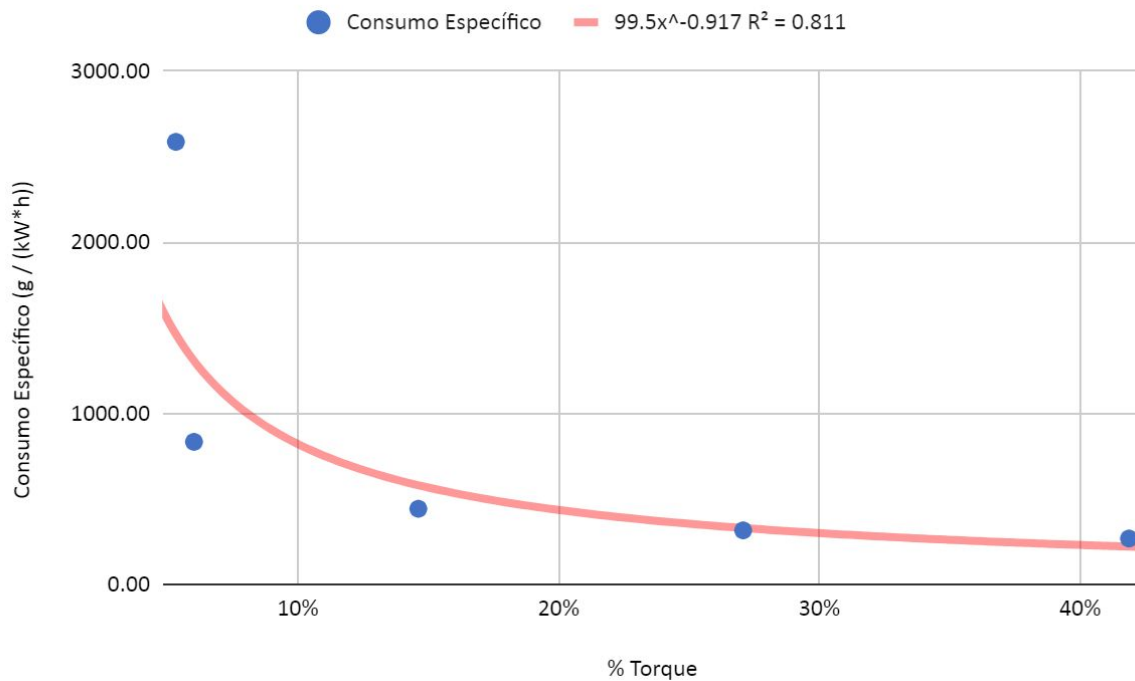
A curva de 80% da rotação nominal demonstra comportamento de pouca concavidade. Nesta faixa de rotação o motor gera grande amplitude de torque relativo associada a alto consumo específico.

Figura 7. Curva de Consumo Específico do MF265 a 70% da rotação



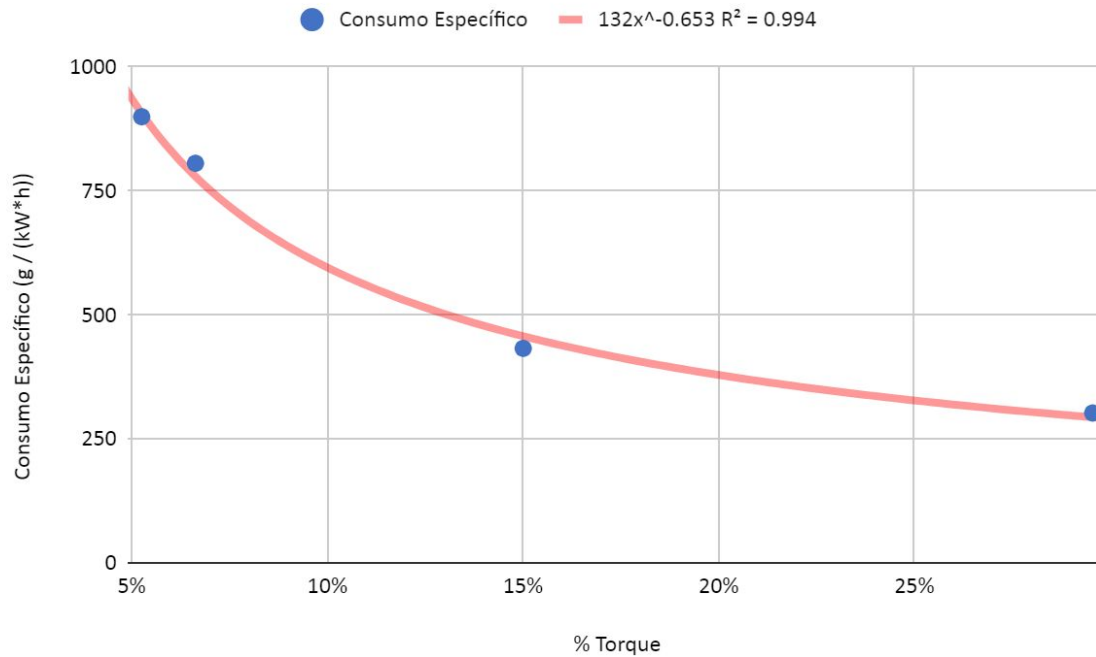
A distribuição dos pontos coletados para construção da curva a 70% da rotação nominal foi irregular, impedindo a construção de uma curva com aproximação satisfatória ($R^2 > 0,9$). Este resultado pode ser decorrente de ineficiência no motor ou falha de procedimento na testagem.

Figura 8. Curva de Consumo Específico do MF265 a 60% da rotação



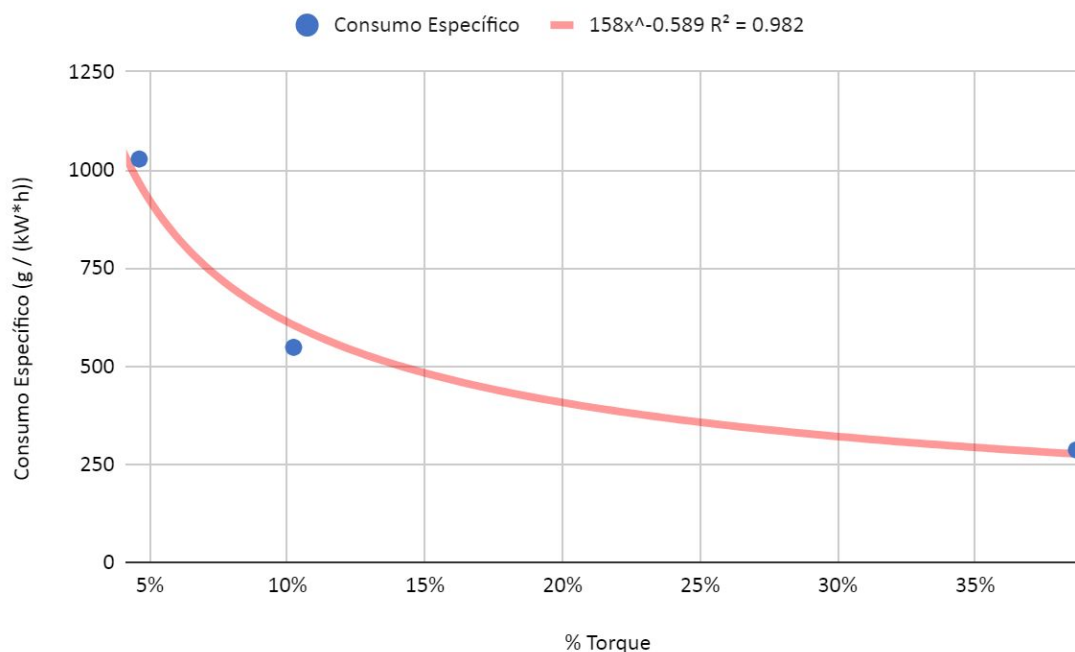
A bateria de testes para construção da curva de consumo específico a 60% da rotação nominal gerou pontos de CE muito elevados, dada mínima produção de torque sob alto consumo de combustível. Este comportamento pode ser, novamente, ocasionado por ineficiência do motor testado.

Figura 9. Curva a de Consumo Específico do MF265 a 50% da rotação



A curva de CE a 50% da rotação nominal demonstra alto consumo específico e baixo torque gerado. Foram coletados poucos pontos, porém este comportamento é esperado, dada a baixa potência que se gera com baixa rotação relativa desempenhada pelo motor.

Figura 10. Curva de Consumo Específico do MF265 a 40% da rotação



A curva de consumo específico a 40% da rotação nominal segue o comportamento demonstrado pela curva a 50%, demonstrando alto CE e baixo TR.

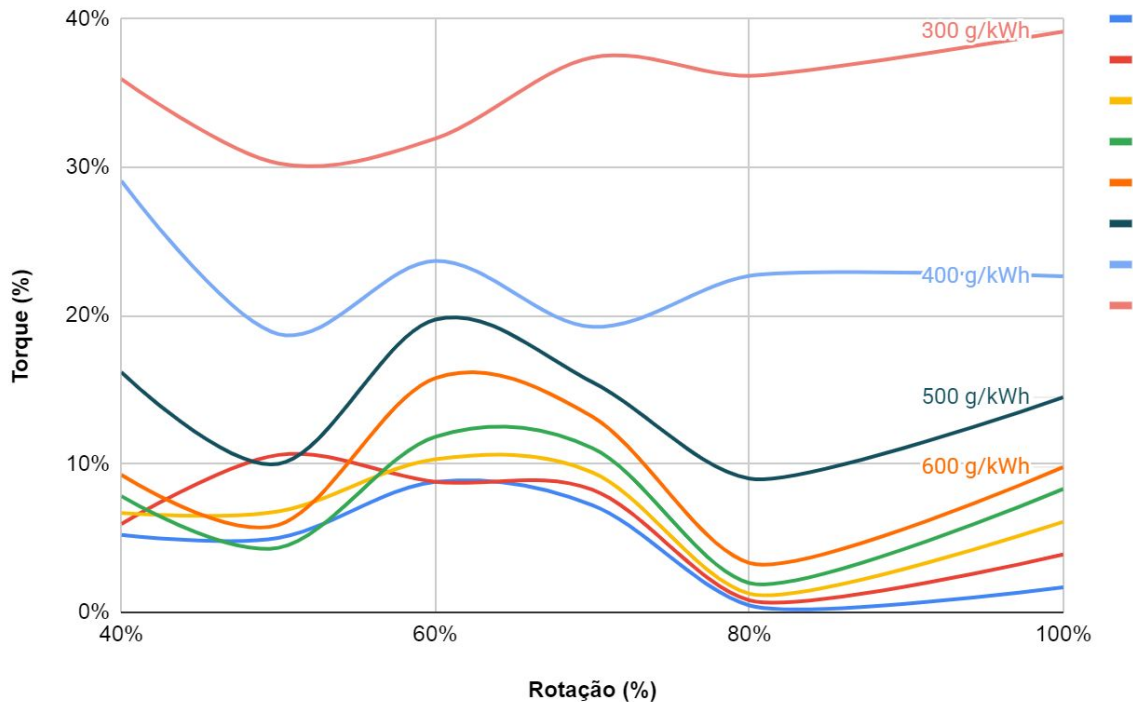
Da interpolação dos valores de torque relativo em função do consumo específico, temos a tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Valores de porcentagem do torque máximo por porcentagem da rotação nominal do motor para cada taxa de consumo específico para o motor do MF265.

Rotação	1000 g/kWh	900 g/kWh	800 g/kWh	700 g/kWh	600 g/kWh	500 g/kWh	400 g/kWh	300 g/kWh
100%	2%	4%	6%	8%	10%	14%	23%	39%
80%	0%	1%	1%	2%	3%	9%	23%	36%
70%	7%	8%	9%	11%	13%	16%	19%	37%
60%	9%	9%	10%	12%	16%	20%	24%	32%
50%	5%	11%	7%	4%	6%	10%	19%	30%
40%	5%	6%	7%	8%	9%	16%	29%	36%

A partir dos dados da Tabela 2, foram plotadas isolinhas de consumo específico no gráfico da Figura 11, de percentual do torque máximo em função de percentual da rotação nominal do motor do trator.

Figura 11: Gráfico de Isoconsumo do motor do MF265

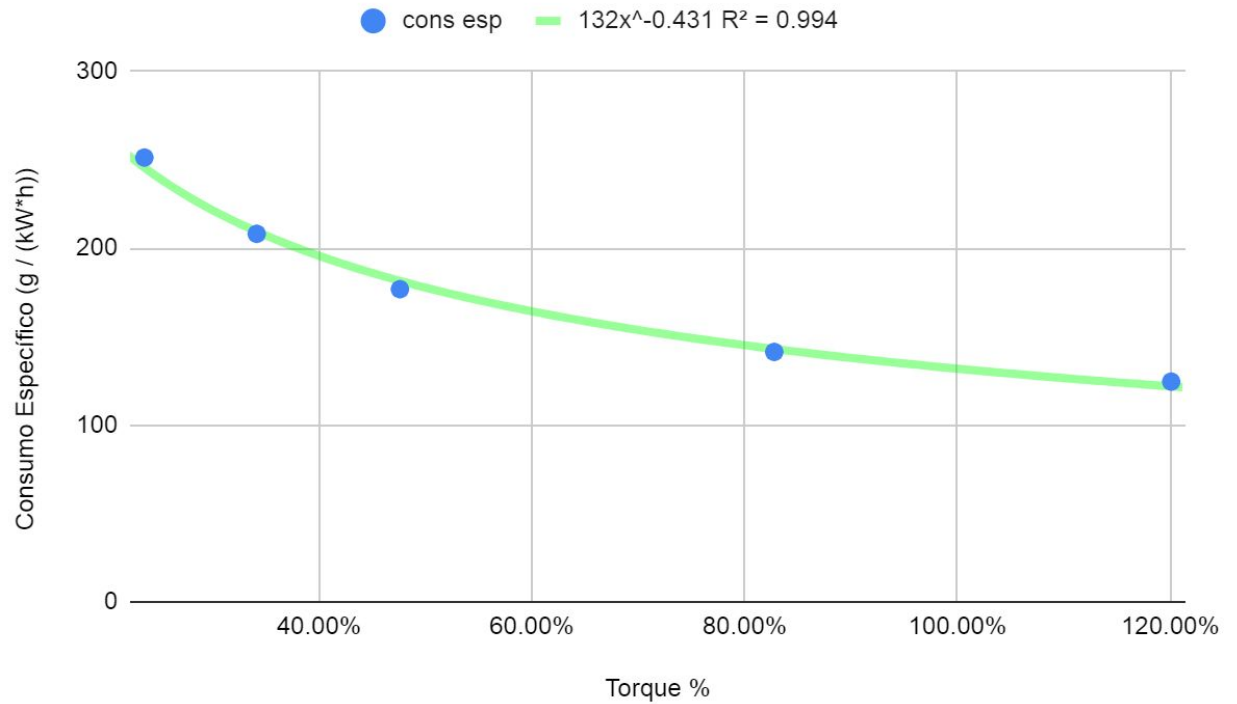


Os dados demonstram que o motor do trator MF265 não apresentou desempenho de alta geração de torque durante os testes dinamométricos, de modo que as isolinhas não se elevaram a 40% de torque relativo conforme houve variação da rotação relativa.

As isolinhas de 400 g/kWh apresentaram formato oscilatório em relação ao torque relativo conforme elevação da rotação relativa, um comportamento anômalo que pode indicar ineficiência da conversão de energia do combustível em energia útil na TDP do trator.

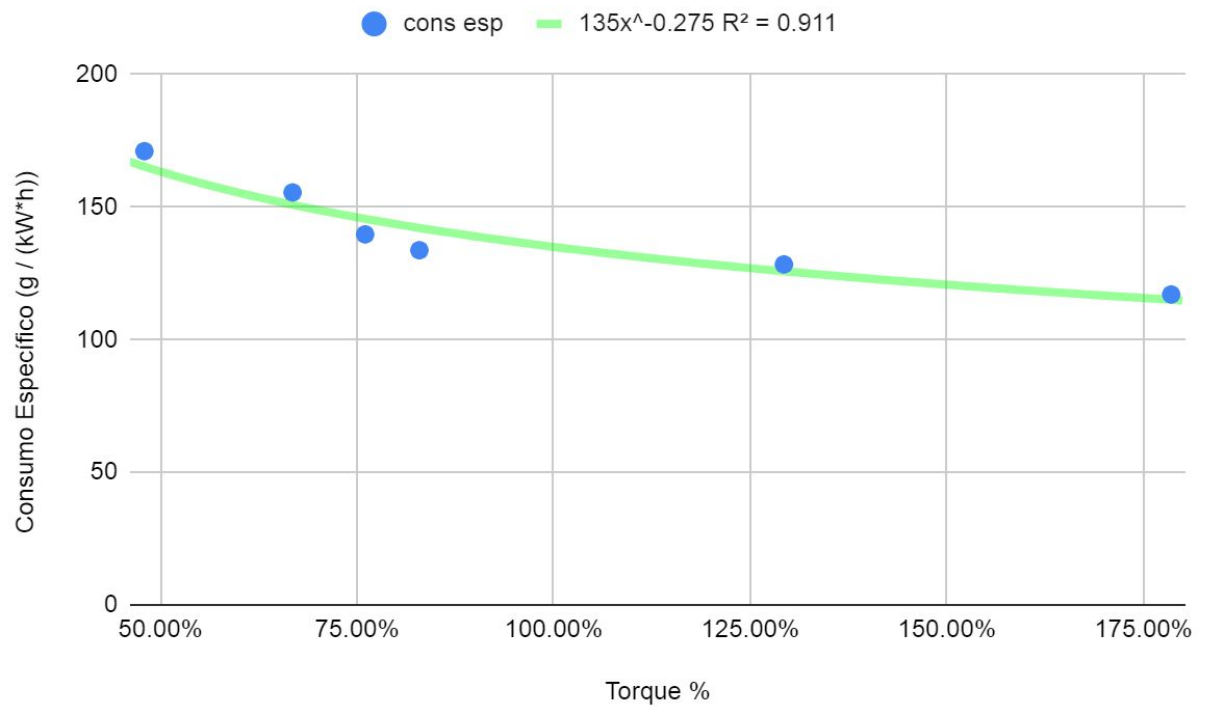
O teste reproduzido no trator JD 7225j gerou os seguintes resultados:

Figura 12: Curva de Consumo Específico do JD7225j a 90% da rotação



A curva demonstra alto torque gerado para rotação relativa de 90%, com uma concavidade pouco acentuada, variando consumo específico horário entre 100 e 200 g/kWh

Figura 13: Curva de Consumo Específico do JD7225j a 80% da rotação



A curva para rotação relativa de 80% apresenta formato mais próximo da linearidade e alcance de torque relativo menor que da curva anterior, demonstrando redução de potência e redução da rotação.

Figura 14: Curva de Consumo Específico do JD7225j a 70% da rotação.

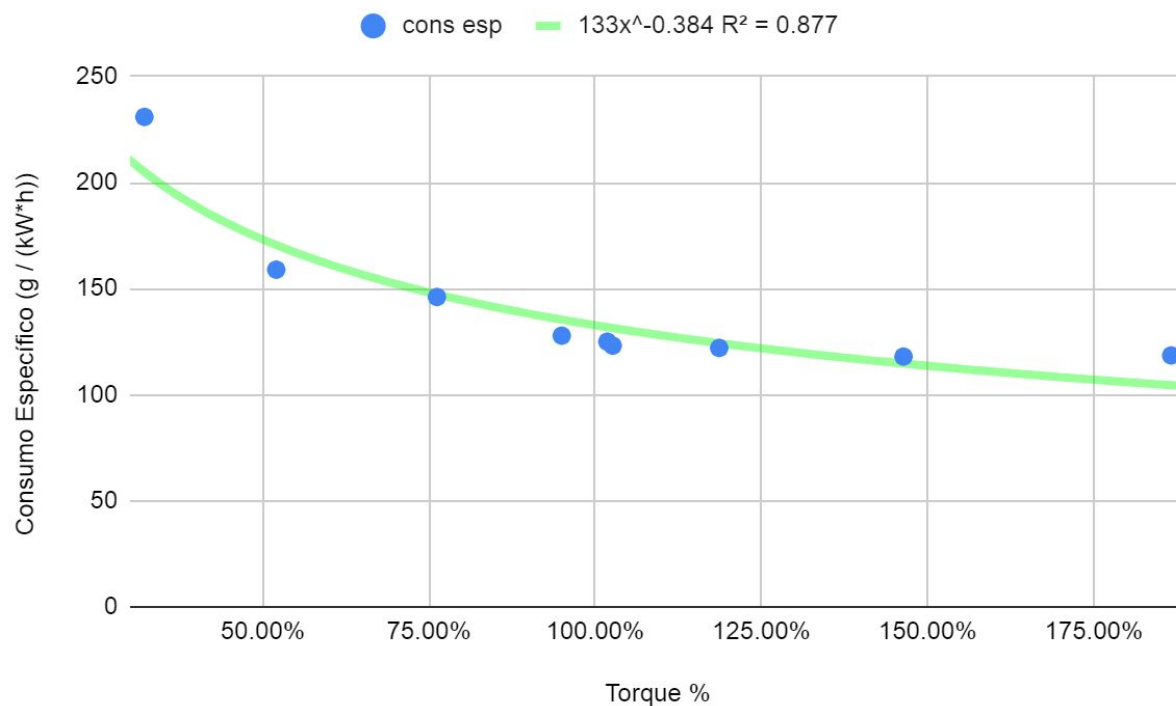


Figura 15: Curva de Consumo Específico do JD7225j a 60% da rotação

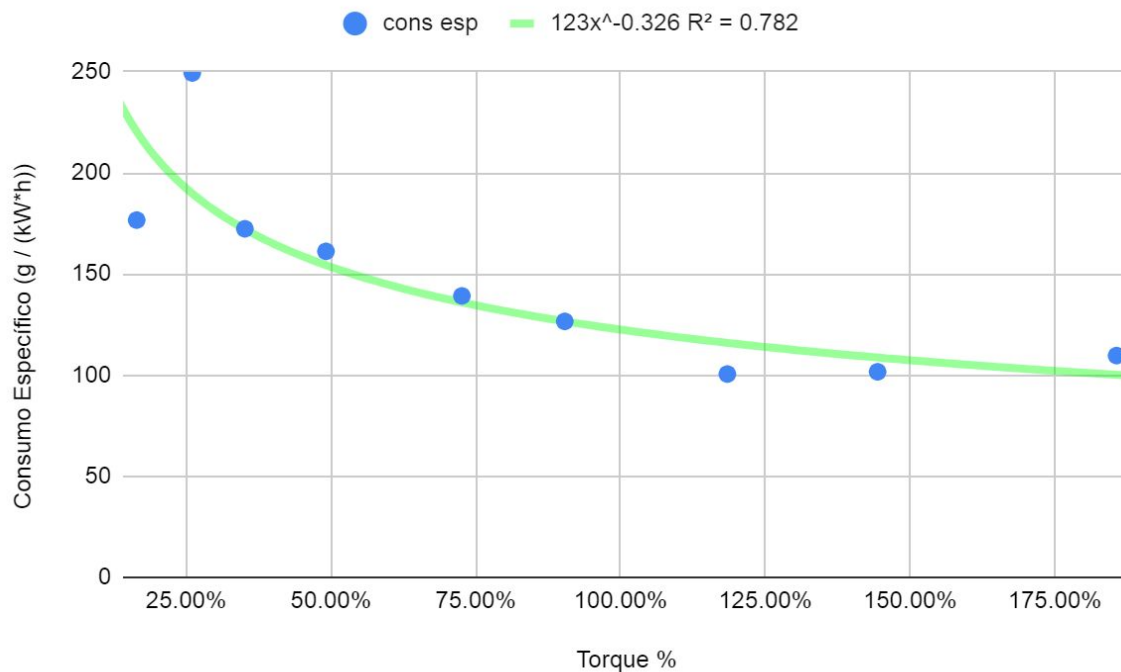
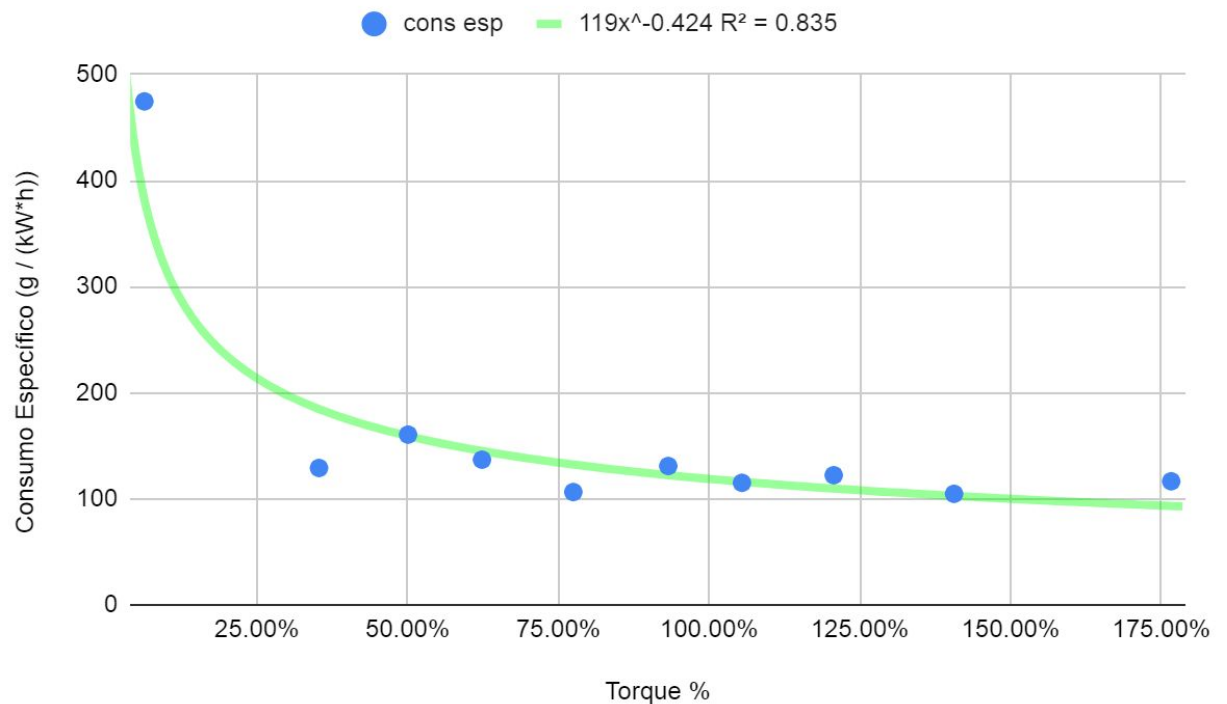


Figura 16: Curva de Consumo Específico do JD7225j a 50% da rotação



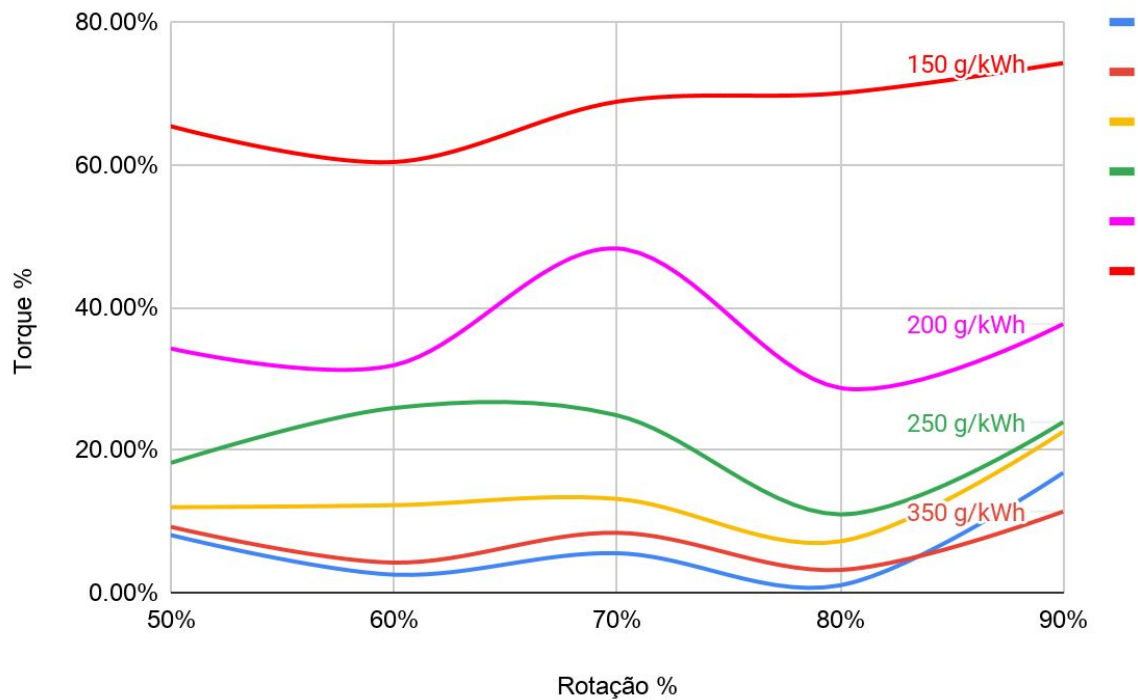
As curvas de rotação relativa de 70%, 60% e 50% apresentam comportamento semelhante no alcance de torque relativo gerado, porém com aumento taxa de variação de consumo específico em função da geração de torque das maiores rotações relativas para as menores.

Da interpolação dos valores torques e CE temos a seguinte tabela e seguintes curvas de isoconsumo:

Tabela 3: Valores de porcentagem do torque máximo por porcentagem da rotação nominal do motor para cada taxa de consumo específico para o motor do JD7225j.

Rotação	400 g/kWh	350 g/kWh	300 g/kWh	250 g/kWh	200 g/kWh	150 g/kWh
90%	16.80%	11.37%	22.57%	23.92%	37.67%	74.25%
80%	1.02%	3.18%	7.18%	10.97%	28.70%	70.03%
70%	5.53%	8.39%	13.14%	24.86%	48.25%	68.84%
60%	2.52%	4.21%	12.26%	25.89%	31.88%	60.38%
50%	8.07%	9.22%	11.98%	18.19%	34.23%	65.39%

Figura 17: Gráfico de Isoconsumo do motor do JD7225j



O gráfico gerado para o motor do JD7225j demonstra comportamento mais próximo do modelo indicado na Figura 4, havendo oscilações mais atenuadas de torque relativo em função da variação de rotação relativa quando comparado ao gráfico gerado para o MF265.

Além desta característica, o gráfico demonstra que o motor do JD7225j alcançou valores altos de torque relativo durante os testes, variando até 80% conforme as isolinhas têm menor valor de consumo específico.

Conclusão

Com a realização deste trabalho e baseado no que foi exposto anteriormente, pode-se extrair as seguintes conclusões:

1. O dinamômetro da Feagri demonstra bom funcionamento e requer manutenção e calibração constantes para que seja possível a reprodução dos testes com obtenção de dados corretos;
2. Foi possível reprodução do teste primeiramente realizado no MF265 em um trator de maior porte como o JD7225j, o que comprova a reprodutibilidade do teste.
3. O fluxômetro de massa construído em oficina para os testes provou-se prático e eficiente para coleta de dados de consumo de diesel e será de grande valia para futuras atividades desse gênero na Feagri.
4. A metodologia adotada é reproduzível e eficiente para demonstrar as informações de torque, potência e consumo de um motor de trator agrícola.
5. O trator MF265 da Feagri possui um motor avariado que não mantém a elevação de torque sob altas rotações e alcança menores valores de torque relativo do que o JD7225j.
6. É possível, a partir da metodologia dos testes dinamométricos, gerar insumos viabilizem a comparação de desempenho operacional e energético entre motores de tratores agrícolas.

Referências

ALMEIDA, R. A. S.; TAVARES-SILVA, C. A.; SILVA, S. L. Energy performance of on entire tractor-seeder according to the escalation of marches and engine speeds. **Revista Agrarian**, v. 3, p. 63–70, 2010.

BERNARDES, Rogério Corrêa; BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Determinação das curvas de iso-consumo com trator operando sobre solo agrícola**. 126f. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 1997.

CAPPELLI, Nelson Luis. **Sistema de informação ao operador do trator agrícola (SITA)**. 225f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. 1990.

FARIAS, M. S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 162f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2014.

FERREIRA, M. Reserva de Torque. **Cultivar**, Pelotas, p. 05, julho/agosto 2001.

GRISSE, R. D.; KOCHER, M. F.; VAUGHAN, D. H. Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 553– 561, 2004.

IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Evolução do consumo de diesel e atividade econômica**. Rio de Janeiro, 2016.

IFAG - Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás. **Análise do impacto da alta do óleo diesel nos custos de produção agrícola**. Goiânia, 2017.

IMEA - Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **Boletim Semanal. Soja - Análise.** Mato Grosso, 2013.

MIALHE, Luiz Geraldo. **Maquinas agricolas ; ensaios e certificacao.** [S.l: s.n.], 1996.

Organization for Economic Cooperation and Development. OECD. **Code 2:** Standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. 2017.

VALE, W. G. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e semeadura.** 212f. Tese (Doutorado) - Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 2011.

Anexos

Anexo 1. Dados médios obtidos em cada teste dinamométrico para o trator JD7225j.

Nº Teste	Rotação (rpm)	% Rotação	Força (N)	Torque (Nm)	% Torque	Potência (kW)	Consumo (g)	Tempo (s)	Cons Esp (g/kWh)
1.1	1900	90%	-3.45	1,230.9	120%	244.9	-525.5	62.0	124.6
1.2	1890	90%	-2.38	848.6	83%	168.0	-486.8	73.8	141.4
1.3	1900	90%	-1.37	488.0	48%	97.1	-334.9	70.2	176.9
1.4	1900	90%	-0.98	350.1	34%	69.7	-302.1	75.0	208.2
1.5	1900	90%	-0.68	241.9	24%	48.1	-213.7	63.6	251.3
2.1	1700	81%	-5.13	1,830.0	179%	325.8	-461.8	43.6	117.0
2.2	1700	81%	-3.71	1,325.2	129%	235.9	-620.9	73.8	128.4
2.3	1700	81%	-2.73	975.3	95%	173.6	-725.4	329.2	45.7
2.4	1700	81%	-2.38	850.0	83%	151.3	-425.0	75.6	133.7
2.5	1700	81%	-1.92	684.7	67%	121.9	-371.8	70.6	155.5
2.6	1700	81%	-2.18	779.3	76%	138.7	-619.2	115.0	139.7
2.7	1700	81%	-1.38	491.6	48%	87.5	-219.6	52.8	171.1
3.1	1500	71%	-0.92	330.1	32%	51.9	-266.8	80.2	231.0
3.2	1500	71%	-5.36	1,913.2	187%	300.5	-759.8	76.8	118.5
3.3	1500	71%	-4.20	1,500.5	146%	235.7	-554.6	71.8	118.0
3.4	1500	71%	-3.41	1,216.3	119%	191.1	-349.8	54.0	122.1
3.5	1500	71%	-2.92	1,043.9	102%	164.0	-390.6	68.6	125.0
3.6	1500	71%	-2.95	1,052.1	103%	165.3	-499.7	88.4	123.1
3.7	1500	71%	-2.73	973.5	95%	152.9	-288.9	53.2	127.8

3.8	1500	71%	-2.19	781.1	76%	122.7	-278.8	56.0	146.1
3.9	1500	71%	-1.49	533.4	52%	83.8	-170.9	46.2	159.0
4.1	1300	62%	-0.75	267.0	26%	36.4	-148.6	59.0	249.4
4.2	1300	62%	-5.33	1,903.2	186%	259.1	-580.8	73.6	109.6
4.3	1300	62%	-4.15	1,480.1	144%	201.5	-410.7	72.2	101.6
4.4	1300	62%	-3.40	1,214.2	118%	165.3	-346.2	75.0	100.5
4.5	1300	62%	-2.60	926.4	90%	126.1	-174.7	39.4	126.6
4.6	1300	62%	-2.09	744.3	73%	101.3	-260.1	66.4	139.2
4.7	1300	62%	-1.41	503.7	49%	68.6	-160.9	52.4	161.2
4.8	1300	62%	-1.01	360.2	35%	49.0	-185.0	78.8	172.4
4.9	1300	62%	-0.47	168.7	16%	23.0	-89.7	79.6	176.7
5.1	1100	52%	-5.07	1,810.7	177%	208.6	-811.4	120.2	116.5
5.2	1100	52%	-4.04	1,441.6	141%	166.1	-248.2	51.4	104.7
5.3	1100	52%	-3.47	1,237.0	121%	142.5	-310.6	64.2	122.2
5.4	1100	52.38%	-3.03	1,081.0	105.46%	124.5	-241.2	60.6	115.1
5.5	1100	52.38%	-2.68	955.7	93.24%	110.1	-241.0	60.2	130.9
5.6	1100	52.38%	-2.23	794.3	77.50%	91.5	-166.0	61.4	106.4
5.7	1100	52.38%	-1.79	639.0	62.34%	73.6	-155.6	55.6	136.9
5.8	1100	52.38%	-1.44	513.4	50.08%	59.1	-152.9	58.0	160.5
5.9	1100	52.38%	-1.01	362.0	35.32%	41.7	-87.6	58.6	129.1
5.1	1100	52.38%	-0.18	65.2	6.36%	7.5	-66.1	66.8	474.7