

**CENTRO UNIVERSITARIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
HENRIQUE COLONHEIS BUSIQUIA**

TESTE DO BODIESEL DE CRAMBE

CASCADEL - PR

2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
HENRIQUE COLONHEIS BUSIQUIA**

TESTE DO BIODIESEL DE CAMBE

Trabalho apresentado na disciplina e Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador Mestre Engenheiro
Mecânico: Eliseu Avelino Zanella

CASCADEL - PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
HENRIQUE COLONHEIS BUSIQUIA

TESTE DO BIODIESEL DE CRAMBE

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior


BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof^a Mestre Eliseu Avelino Zanella Junior
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Mestre Rogério Luiz Ludgero
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Mestre Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 18 de junho de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família que têm me ajudado nessa caminhada até agora em especial aos meus pais Jurandir De Oliveira Busiquia e Cleusa Colnheis Busiquia, e a Deus por ter me dado força

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre estar me guiando, me abençoando, e me dando força para não desistir no meio do caminho.

Agradeço aos meus pais Jurandir e Cleusa por sempre estar ao meu lado me motivando.

E quero agradecer especialmente ao meu Orientador, Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Júnior, que dedicou seu tempo e paciência para poder me auxiliar a realizar este estudo.

A professora Me. Rosemar Cristiane Dal Ponte de metrologia por ter me fornecido o número do Engenheiro Cristiano Fernando Lewandoski que me ajudou na extração do óleo.

E a todos professores do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, que passaram seus conhecimentos, e experiências.

Agradeço a fundação MS por ter me fornecido a semente de crambe, em especial ao Andre Bezzera.

RESUMO

Este projeto terá como objetivo geral analisar a viabilidade do biodiesel da semente de crambe aplicado a motores ciclo diesel. A utilização do biodiesel vem cada vez mais se tornando usual, estudos já comprovaram que o biodiesel é menos poluente. A cada ano que passa as leis estão sendo mais exigentes, aprovando uma grande porcentagem de biodiesel dentro do diesel convencional, como já temos o S-10 e entre outros. Foi utilizado um motor para teste MWM 2.8 turbo, *intercooler*, que se encontra em uma camionete Chevrolet S-10, que utiliza o diesel S-500 com alto teor de enxofre, e foi substituído pelo biodiesel da extração da semente de crambe, a partir disso foi analisado, potência e torque.

Palavras-chave: Viabilidade do biodiesel; Análise de potência e torque; Extração; Utilização.

ABSTRACT

This Project will have as general objective to analyze the viability of the biodiesel of the crambe seed applied to diesel cycle engines. The use of biodiesel is becoming more and more common, studies have already proven that biodiesel is less polluting. Each year that passes the laws are being more demanding, approving a large percentage of biodiesel with in conventional diesel, as we already have the S-10 and among others. We will use a test engine MWM 2.8 turbo, intercooler, that is in a van Chevrolet S-10, that uses the diesel S-500 with high sulfurcontent, and were placed by the biodiesel of the extraction of the crambe seed, in that we analyzed, Power and torque.

KEYWORDS: Biodiesel viability; Power and torque analysis; Extraction; Utilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.	15
Figura 2 - Forma Molecular.	18
Figura 3 - Funcionamento do ciclo diesel.	24
Figura 4 - Semente de crambe.	26
Figura 5 - Farelo da semente de crambe.	28
Figura 6 – Sistema <i>Soxhlet</i>	32
Figura 7- Destilação do Hexano.	33
Figura 8 - Prensa extrusora.	35
Figura 9- Abastecimento da prensa com crambe.	36
Figura 10 - Amostras do óleo de crambe com diesel s500	37
Figura 11 - Motor MWM 2.8 turbo <i>intercooler</i>	39
Figura 12 - Rolo dinamômetro.	40
Figura 13 - Teste realizado no dinamômetro com temperatura estabilizada.	40
Figura 14- Sistema para teste do biodiesel	41
Figura 15 - Amostras de biodiesel.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Regulamentação para o biodiesel no Brasil.....	22
Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos (% m/m) do óleo de Crambe	29
Tabela 3 - Porcentagem de biodiesel no diesel %	37
Tabela 4 - Análise da melhor amostra.....	48
Tabela 5 - Comparação do diesel s500 com o biodiesel.....	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Taxa de compressão.....	24
Equação 2 – Volume de deslocamento.....	24
Equação 3 – Volume da câmara de combustão.....	24
Equação 4 – Cálculo do torque	44
Equação 5 – Potência Efetiva	46

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

CV – Cavalo Vapor

RPM – Rotaoes por minuto

Kgfm – Quilograma força vezes metro

MWM – *Motoren Werke Mannheim*

Km/h – Quilmetros por hora

Kg – Quilograma

Bar – Unidade de pressão

OPEP – Organizao dos Países Exportadores de Petróleo

MME – Ministério de Minas e Energia

MAN - *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*

PMS – Ponto morto superior

PMI- Ponto morto inferior

ANP – Agencia Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis

Kgfc_m – Quilograma força vezes centímetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO.....	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 OLÉO DIESEL.....	17
2.2 BIODIESEL	18
2.3 BIODIESEL NO BRASIL	19
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL.	20
2.5 ASPECTOS NORMATIVOS.....	21
2.6 MOTORES CICLO DIESEL.....	23
2.7 COMBUSTÃO DE MOTORES CICLO DIESEL.....	23
2.8 BOMBA INJETORA.....	25
2.9 CRAMBE	25
2.10 NÚMERO DE CETANOS	29
3 METODOLOGIA	31
3.1 EXTRAÇÃO QUÍMICA POR HEXANO.....	31
3.2 PRENSA EXTRUSORA	34
3.3 MOTOR PARA TESTE.....	38
3.4LOCAL DE TESTE	39
3.5 MÉTODO DE TESTE DO BIODIESEL.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 CÁLCULO DO TORQUE DO MOTOR.	44
4.2 POTÊNCIA EFETIVA	46
4.3 RESULTADOS OBTIDOS.	48
5 CONCLUSÃO	50
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXO 1 – GRÁFICOS DO TESTE DO DINAMÔMETRO	55

1 INTRODUÇÃO

Como o Brasil vem sofrendo com uma crise energética que a cada ano que passa vem se agravando mais, com isso buscar novas fontes de energia, ou combustíveis que tenha uma boa eficiência, que seja mais barato e menos poluente.

Hoje em dia muitos grupos moto geradores que auxiliam em grandes empresas, hospitais, universidades, e a grande maioria vem utilizando diesel convencional, assim como o aumento de carros a diesel no nosso país, a população acaba optando por eles, por ter uma economia maior do que os motores ciclo Otto, e uma vida útil do motor mais elevada, e sem contar que um dos principais meios de locomoção de cargas dentro do nosso país é feito por veículos ciclo diesel, caminhões e entre outros.

Por isso a importância desse estudo, para buscar-se uma melhor eficiência e diminuir a contribuição na poluição do planeta.

A utilização do biodiesel vem cada vez mais se tornando usual devido as suas características químicas, vários estudos já realizados comprovam que seus níveis de emissão de poluentes são menores em relação ao diesel convencional, e alta eficiência também.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica e a funcionalidade na utilização da mistura do biodiesel do óleo de crambe com o diesel S500 em motores de veículos a diesel quatro cilindros em linha 2.8 turbo *intercooler* MWM.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar as condições em que o motor diesel trabalha utilizando o biodiesel a partir da semente de crambe.

- Analisar se a potência e o torque do motor vão ser afetados pelas proporções do biodiesel de crambe.
- Avaliar se terá vantagens com a utilização do biodiesel de crambe, ou se terá desvantagens.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em motores de combustão interna são necessários ensaios para a aprovação do acréscimo do biodiesel ao diesel convencional, para analisar se não terá perda de rendimento, potência, consumo.

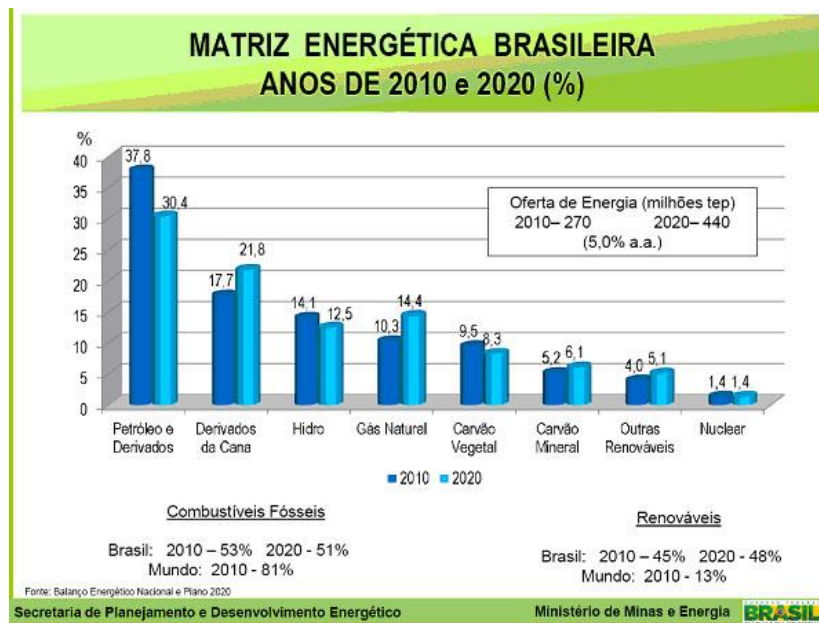
Boa parte da energia consumida no mundo vem de produtos fósseis como carvão, óleo diesel e demais derivados do petróleo, o óleo diesel é um dos produtos fósseis mais utilizado tanto no ramo automotivo, como industrial.

O grande problema é que todo combustível derivado de petróleo está se esgotando, grandes reservas de petróleo não serão suficientes para atender a demanda. Com o passar do tempo acredita-se que a demanda do uso de diesel vai se estabilizar cada vez mais aumentando a busca por fontes renováveis, e como a grande frota em veículos e em grupo geradores, por isso a necessidade de buscar novas fontes de combustíveis alternativas como o biodiesel se ele atender as expectativas esperadas.

Se não houver novas matrizes energéticas, os combustíveis fósseis responderão por volta de 90% do aumento planejado na demanda mundial, considerando nosso nível atual de consumo de petróleo as reservas comprovadas são de 1,131 trilhões de barris (78% dos países da OPEP) permitirão suprir a demanda por mais quarenta anos (BUAINAIN, 2007).

O gráfico da Figura 1 mostra a matriz energética nos anos de 2010 e 2020, as relações de uso de energias não renováveis, com o consumo de combustíveis derivados de petróleo

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.



Fonte: Brasil escola (2010).

Com a questão da redução de emissão de gases, os aumentos da intensidade energética mudaram suas trajetórias no período de 2004-2014, as estimativas são de que as opções em energia limpa, ou não derivada do petróleo responderão mais de 40% do consumo de energia em 2030 e por 90% em 2060 (TUNER e MCKINLEY,2013).

Outro fator que podemos levar em conta é o preço do litro do diesel, que a cada dia que passa vem se tornando mais caro, e o uso do biodiesel misturado ao diesel comum não garante redução no preço do barril, mesmo tendo sua fabricação mais simples, e pelo fato de ser extraído de uma planta.

Segundo futuros (BRENT), subiram US\$ 1,14 ou 1,9% a US\$ a 60,44 dólares por barril, após alcançar a máxima da sessão a US\$ 60,53 dólares por barril, a máxima desde julho de 2015 e mais de 35% acima das mínimas de 2017 registradas no mês de junho

Outra questão é que a extração do petróleo traz muitos riscos ao meio ambiente, mas não só na extração do petróleo, e sim no transporte e entre outros fatores. Na extração do petróleo são necessárias máquinas que podem ser fixas ou móveis, o petróleo pode ser bombeado tanto para oleodutos ou direto para o navio, e

onde acontecem as catástrofes, porque o vazamento de óleo acontece tanto nos transportes quanto nas plataformas utilizadas para a extração.

Os danos causados ao meio ambiente é um grande problema porque o petróleo é uma substância tóxica que pode ocasionar na morte de várias espécies marinhas, e claro afetando também a população que mora ao redor do local com a poluição.

Há cinco anos, o pior vazamento de petróleo acontecia no Golfo do México. A plataforma *Deep water Horizon*, da petrolífera inglesa *British Petroleum* (BP), explodiu e provocou a morte de sete trabalhadores e o vazamento de cerca de 5 milhões de barris de petróleo no mar. Para se ter uma ideia do tamanho do vazamento, esse número representa quase o dobro da produção diária brasileira. Infelizmente, este desastre não foi o suficiente para que a exploração de petróleo em alto mar passasse a ser encarada como perigosa e nada segura (GREENPEACE, 2015, p.1).

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Quais as porcentagens de biodiesel de crambe adicionados no diesel convencional apresentarão melhor eficiência e melhor desenvolvimento, e se terá ganho de potência? E com o biodiesel puro o motor apresentara bom funcionamento e bom rendimento?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O projeto foi desenvolvido com o intuito de analisar o biodiesel de crambe, para verificar se ele tem um bom desempenho em motores de combustão interna ciclo Diesel, verificar se não apresentaria perda de potência, e se não causaria problema com a troca do diesel convencional, pelo biodiesel de crambe.

O teste foi realizado em um motor MWM 2.8 diesel turbo *Intercooler* 4 cilindros, que se encontra em uma S-10 ano 2001 da marca Chevrolet. Cilindrada igual a 2,796 cm, potência máxima igual a 132 cv á 3600 RPM, torque máximo 34 kgfm á 1800 RPM, velocidade máxima igual a 171 km/h e aceleração de 0 a 100 em 13,2 segundos (VRUUM, 2010).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OLÉO DIESEL

O óleo diesel é o combustível mais utilizado no Brasil, suas grandes utilizações são em transportes rodoviários, marítimos e de passageiros, e agora vem se utilizando bastante em grupo moto gerador.

A criação do motor e combustão interna por Rudolph Diesel, e com o sistema de injeção de diesel direta pela Bosch, alavancou a produção do produto destilado do petróleo: Diesel (SOUSA,2008).

O combustível diesel é formado principalmente por átomos de carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos), e com baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio. É um produto inflamável (pode ser queimado), tóxico, pouco volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico (SANTOS, 2008).

Contém em média entre 12 e 22 átomos de carbono, a produção do óleo a diesel e feito por um processo inicial de destilação fracionada (SANTOS, 2008).

A partir do refino do petróleo obtêm-se, pelo processo inicial de destilação fracionada, as frações denominadas de óleo diesel leve e pesado, básicas para a produção de óleo diesel. Esse combustível é produzido a uma temperatura entre 260°C e 340°C, a essa temperatura podem ser agregadas outras frações como a nafta, o querosene e o gasóleo leve (esse resulta no produto conhecido como óleo diesel) (SOUZA, 2008, p.1).

Para atender as diversas aplicações que o óleo diesel apresenta a ANP estabelece:

Óleo diesel S10 ou S500 para veículos automotivos, máquinas agrícolas, máquinas de construção e entre outro (ANP, 2011).

Óleo diesel S1800 de uso não rodoviário para mineração, transporte ferroviário, e geração de energia elétrica (ANELL, 2011).

A queima desse combustível libera muitos gases poluentes na atmosfera, os principais liberados são o monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e enxofre, todos esses fatores acabam contribuindo para o aquecimento global (CERQUEIRA, 2006).

2.2 BIODIESEL

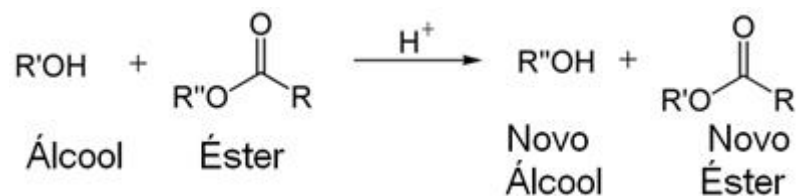
O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico chamado transesterificação, através desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos, gorduras de animais, plantas reagem com o álcool primário, etanol ou metano. O biodiesel só pode ser comercializado depois de passar por um processo de análise e purificação do combustível (ANP, 2011).

Transesterificação é um processo em que se obtém um éster por meio de outro éster.

A transesterificação pode ser realizada em meio ácido ou básico e como também se trata de um equilíbrio, o álcool é empregado como solvente, o que favorece a formação de um novo éster. Esse tipo de transesterificação que reage o éster com álcool é chamado de alcoolize. Mas, pode-se também reagir o éster com um ácido carboxílico ou com outro éster, sendo denominadas de acidólise e interesterificação, respectivamente (FOGAÇA, 2006, p.1).

Genericamente, a reação de transesterificação pode ser representada conforma a Figura 2.

Figura 2 - Forma Molecular.



Fonte:Fogaça (2006).

Os primeiros estudos para a criação de uma política para o biodiesel no Brasil iniciaram em 2003, com a criação da Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB) e do Grupo Gestor (GG) pelo governo federal. Em dezembro de 2004, o governo federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com o objetivo inicial de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira. Com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, o principal resultado dessa primeira fase foi a definição de um arcabouço legal e regulatório (ANP, 2016, p.1).

O biodiesel já é uma realidade no Brasil, a cada ano que passa ele vem sendo estudado cada vez mais, pelo fato de ser considerado um combustível limpo com menos teor de enxofre, sem derivados de petróleo. O biodiesel ainda durante a queima

da combustão interna libera uma quantidade de dióxido de carbono com relação aos combustíveis fósseis, além de ser uma fonte de energia renovável (SANTOS, 2008).

Além de ser menos poluente na liberação de enxofre, o biodiesel também contribuiu significativamente para a diminuição da poluição da água, pois ele pode ser produzido através de resíduos de óleo de fritura, para termos uma ideia 1 gota de óleo contamina 25 litros de água tornando ela imprópria para o consumo (SANTOS, 2008).

Pesquisas mostram que é possível cultivar vegetais capazes de produzirem óleos para a produção de biodiesel, os óleos mais conhecidos atualmente são óleos de mamona e girassol, mas sabemos que existem mais plantas com capacidade de produzir o óleo como a semente de crambe que contém no seu óleo triglicerídeos (SANTOS, 2008).

O biodiesel apresenta algumas dificuldades e desvantagens em sua obtenção, inaptações em alguns veículos, ou grupo moto gerador existentes, para a adequação nos veículos para ter o funcionamento com o biodiesel. A produção dele em grande quantidade necessita de mão de obra especializada, e equipamentos sofisticados, pois na fabricação de combustível tem que ter um conhecimento profundo em química orgânica, bioquímica e físico-química (SANTOS, 2008).

2.3 BIODIESEL NO BRASIL

O Brasil é um dos maiores produtores e também consumidores de biodiesel do mundo, atualmente a legislação tornou obrigatório que o diesel venha com porcentagens de biodiesel. O governo federal elevou para 8%, mas essa mistura sofre ainda mudanças, a mistura obrigatória foi elevada para 9% a partir de 1 de março de 2018 e 10% em março de 2019 de acordo com a resolução (G1 REUTERS, 2017).

Com o percentual em alta o Brasil reduziu as importações de óleo diesel, além disso, favorecendo o agronegócio brasileiro com incentivo à produção segundo a MME.

Segundo o Ministério de Minas e Energia o Brasil está entre os dois maiores produtores de biocombustível do país, junto com os Estados Unidos, a produção de biodiesel nos últimos tempos chegou a 7,2 bilhões de litros, segundo o ministério (G1 REUTERS, 2017).

Com essa elevação do percentual a indústria de biodiesel prevê crescimento em até 20% em 2017 segundo o diretor-superintendente da União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (Ubrabio), Donizete Tokarski (G1 REUTERS, 2017).

O Brasil se encontra numa posição geográfica muito privilegiada, pois é um país tropical, com temperatura média anual e com muitos recursos hídricos que originam vários tipos de vegetais que podem ser utilizados para a produção de biodiesel.

Precisamos entender que o S50 e posteriormente o S10 têm a missão de substituir o atual S500 consumido no país (500 partes de enxofre por milhão) por decisão legal e que para isso, obrigatoriamente, exigiram muitos investimentos. Neste sentido, a contribuição do biodiesel tem impacto direto na redução dos custos com saúde pública, pois ao não emitir enxofre cumpre o objetivo do governo nesse sentido (BIODIESELBR, 2012, p.1).

A indústria de biodiesel está preparada para produzir o dobro da demanda atual, pois tem capacidade e disponibilidade de matéria prima, com essa fonte de energia, pode ajudar no crescimento do Brasil.

2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL.

Uma de suas vantagens é a questão da energia renovável, que no Brasil há muitas terras cultiváveis que podem produzir variedade de oleaginosas.

- É um ótimo lubrificante
- Tem baixo risco de explosão
- Tem fácil transporte e fácil armazenamento
- Colabora com a diminuição de poluição, e danos no efeito estufa
- Substitui o diesel pelo biodiesel sem necessidades de ajuste

A viabilidade do uso direto do biodiesel foi comprovada já que não causa danos no motor e não compromete a potência do motor, em alguns casos chega a ter um ganho de potência, pôr o biodiesel ser mais denso que o diesel comum (BIODIESELBR, 2006).

Além de ser uma fonte limpa de energia, acaba gerando emprego para a população do campo (BIODIESELBR, 2012).

Desvantagens:

- O alto teor de glicerina previsto na extração do biodiesel só poderá ter mercado se o valor for inferior dos atuais, se continuar em alta, todo o mercado de óleo químico poderá ser afetado(BIODIESELBR,2012).

2.5 ASPECTOS NORMATIVOS

Para produzir diferentes hidrocarbonetos com a capacidade para substituir o diesel fazem da definição de biodiesel um assunto complexo e de caráter legal. Os documentos oficiais e normas internacionais são bem específicos, definindo o processo pelo qual pode se obter o éster e as características que este deve ter para ser chamado de biodiesel.

A regulamentação do biodiesel no Brasil está definida na resolução da ANP (Agência Nacional do Petróleo) N° 42 de 24.11.2004 – DOU 9.12.2004.

A Resolução 07/08 da ANP é um marco para a indústria de biodiesel brasileira. A agência decidiu tornar mais rígida a especificação do combustível produzido no país, abandonando o padrão provisório (Resolução ANP n° 42, de 24.11.2004 – D.O.U. 9.12.2004 – retificada D.O.U. 19.4.2005), especialmente para que o nosso produto tenha melhor aceitação na Europa e nos Estados Unidos, facilitando a exportação (BIODIESELBR, 2014, p1).

A norma reduziu o limite tolerável de metais alcalinos, álcoois, glicerol, fósforo, carbono e enxofre, o índice de acidez que é aceitável também foi diminuído, também teve novas regras para o teor da água e para contaminação total do biodiesel brasileiro, outra modificação foi no teor de éster a determinação de 19°C como ponto de entupimento de filtro, e uma massa de 20°C é o limite de viscosidade cinemática do combustível (BIODIESELBR, 2014).

A Tabela 1 apresenta o regulamento técnico n° 4/204 com as especificações que o biodiesel deve cumprir, e os métodos em ensaios de caracterização do biodiesel.

Tabela 1 - Regulamentação para o biodiesel no Brasil.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20°C	kg/m ³	850-900 (2)	7148, 14065	1298, 4052	- -
Viscosidade Cinemática a 40°C,	mm ² /s	3-6 (3)	10441	445	EN ISO 3104
Água e sedimentos, máx. (4).	% volume	0,050	-	2709	-
Contaminação Total (6)	mg/kg	24	-	-	EN 12662
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,0	14598	93	-
			-	-	EN ISO3679
Teor de éster (6)	% massa	96,5	-	-	EN 14103
Destilação; 90% vol. recuperados, máx.	°C	360 (5)	-	1160	-
Resíduo de carbono dos 100% destilados, máx.	% massa	0,050	-	4530, 189	EN ISO 10370 -
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	9842	874	ISO 3987
		50	-	4294	-
Enxofre total (6)	% massa		-	5453	EN ISO 14596
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	-	-	EN 14108 EN 14109
			-	-	
Cálcio + Magnésio (6)	mg/kg	5	-	-	EN 14538
Fósforo (6)	mg/kg	10	-	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (6)	-	Anotar	-	613	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19	14747	6371	-
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5	14448	664	-
			-	-	EN 14104 (8)
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8)
			-	-	(9)
			-	-	EN 14106 (8)
			-	-	(9)
Glicerina total, máx.	% massa	0,25	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8)
			-	-	(9)
Monoglicérides (6).	% massa	Anotar	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8)
			-	-	(9)
Diglicérides (6)	% massa	Anotar	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105

Fonte: ANP(2015).

2.6 MOTORES CICLO DIESEL

Os pioneiros dos motores a diesel foram dois ingleses Willian Priestman em 1885 e Herbert Stuart em 1890 e um alemão Emil Capitaine em 1885, esses motores não eram de combustão a pressão constante, utilizavam velas de incandescência assim foram denominados semi diesel (MARTINS, 2006).

Com isso Rudolf Diesel inventou o seu teoricamente através de ciclos termodinâmicos de Carnot, porém em 1893 propõe um ciclo de pressão constante com maior rendimento que o motor a gás. Em 1895 seu protótipo conseguiu funcionar com uma eficiência de 16% e em 1897 chegou a 26,2% sendo denominado motor térmico racional (MARTINS, 2006).

Os primeiros motores a diesel foram vendidos em 1898 por M.A.N e Krupp companhias que apoiaram o seu desenvolvimento (MARTINS, 2006).

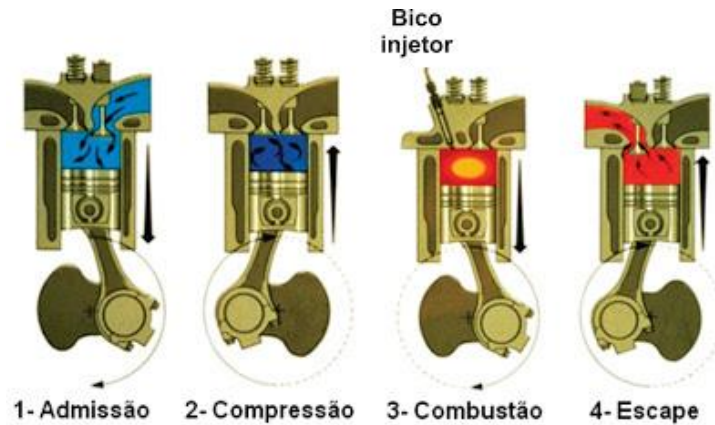
Esse tipo de motor é utilizado na grande maioria de veículos rodoviários pesados ou em algumas instalações estacionarias de potência locomotiva e em automóveis (MARTINS, 2006).

2.7 COMBUSTÃO DE MOTORES CICLO DIESEL

A combustão normalmente começa com a queima na câmara de combustão com a vela de ignição ou com a tocha de pré-câmara, que no caso dos motores a diesel não tem vela de ignição para auxiliar na queima do combustível, existe uma vela aquecedora que aquece o diesel, e nisso o motor entra em funcionamento.

O motor a diesel também realiza os quatro tempos que são admissão, compressão, combustão e escape. Sua combustão é realizada na mistura de ar e combustível, que é inflamada pelo aquecimento do ar sob efeito da compressão. Na Figura 3 observamos o funcionamento do ciclo diesel.

Figura 3 - Funcionamento do ciclo diesel.



Fonte: Coutinho (2007).

A taxa de compressão de um motor de combustão interna é uma razão do volume da câmara de combustão (V_c), somado ao volume de deslocamento do pistão (V_d) dividido pelo volume da câmara de combustão.

$$T_c = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (1)$$

Sendo o volume de deslocamento do pistão

$$V_d = \frac{\pi b^2 L}{4} \quad (2)$$

Sendo b o diâmetro do pistão e L o curso do pistão ou a distância entre o ponto motor superior e inferior do pistão. E o volume da câmara de combustão é de acordo com a Equação 3.

$$V_c = \frac{\pi b^2 hc}{4} \quad (3)$$

Sendo hc a altura da câmara de combustão, utilizamos esta equação se considerarmos que a câmara de combustão seja de seção circular e com mesmo diâmetro do cilindro.

O ponto mais alto que o pistão pode chegar e denomina-se ponto morto superior ou PMS, ao ponto mais baixo chama-se ponto morto inferior ou PMI, a distância percorrida entre os dois pontos mortos se chama curso da manivela. Quando desce PMS até PMI ele denomina-se um volume correspondente a um cilindro cuja sua base e a sua seção de altura é o curso do pistão, chamado de volume cilindrada (MARTINS, 2006).

Admissão: nessa primeira etapa a válvula de admissão abre, movida pelo eixo do comando de válvulas, e o pistão desce aspirando o ar, com o giro do virabrequim completando seu primeiro 180°.

Compressão: ambas válvulas estão fechadas, ocorrendo uma mistura gasosa comprimida pelo movimento do pistão.

Combustão: a combustão da mistura do combustível que esta comprimida dentro do cilindro ocorrendo a explosão com a mistura empurrando o pistão para baixo.

Escape: o pistão sobe e libera os gases formado na combustão.

2.8 BOMBA INJETORA

Bomba injetora para motores a diesel é um sistema de bombeamento mecânico com pistões que funciona imerso e lubrificado pelo próprio diesel que chegam a ter uma pressão de 500 bar, evitando assim grandes ajustes nos pequenos pistões, esse sistema fornece alta pressão, são as molas que pressionam as válvulas fechadas que cedem sob pressão e liberam a passagem do óleo, retido no bico injetor; este entra atomizado na câmara e reage com o oxigênio comprimido (MARTINS, 2006).

2.9 CRAMBE

É uma planta herbácea, tem uma altura aproximada de um metro, cuja haste ramifica-se próximo ao solo formando em média 30 ou mais galhos que se ramificam formando galhos terciários (DESAI *et al.*, 1997). Suas folhas são em formatos ovais e assimétricas com lâmina foliar de aproximadamente 10 cm de comprimento e 7 cm de

largura, com sua superfície lisa. Seu pecíolo apresenta aproximadamente 20 cm de comprimento e é pubescente (OPLINGER *et al.*, 2008).

Crambe (*Crambe Abyssinica Hochst*) é nativo do mediterrâneo, seus grãos (Figura 4) são muito oleaginosos, esse óleo não é comestível, mais muitos usado em produtos indústrias. A planta geralmente é encontrada em áreas tropicas e subtropicais, foi cultivada pela primeira vez em 1933 na estação Botânica de Boronez, na União Soviética (BIODIESELBR, 2012).

Por suas origens tolera bem a seca e o frio sendo indicado para plantios de outono e inverno no Brasil, comparado com a canola suporta altas temperaturas, com isso permite que seu plantio se estenda a regiões mais quentes do Brasil, com um ciclo aproximadamente de 90 dias, é um bom produto para a safra. O solo para seu cultivo devem ser eutróficos ou corrigidos, as condições da camada sub- superficial (20-40 cm) são fundamentais para seu desenvolvimento (FUNDAÇÃOOMS, 2010).

Figura 4 - Semente de crambe.



Fonte: EMPRAPA (2013).

A época de plantio depende muito da duração do período chuvoso em cada região, o estande de plantas varia entre 80 e 120 plantas por metro quadrado de (20 a 30 plantas por metro) representa de 12 a 15 kg de sementes. Seguindo as orientações de plantio a produtividade varia entre 1000 a 1500 kg, o conteúdo de óleo varia entre 36% a 38% no grão, extração mecânica para prensas e extrusoras 20% a 25% de óleo, já na extração para solvente de 30% a 35%. O óleo tem 60% de ácido erúxico com várias aplicações na indústria química (lubrificantes, polímeros e

plásticos), bom resultado tem sido obtido com o óleo para a produção de biodiesel, o farelo é tóxico para suínos e aves, mas já pode ser usado na alimentação de bovinos na proporção de até 15% da dieta total (FUNDAÇÃOOMS, 2010).

Aspectos importantes:

- Alta tolerância a seca;
- Ciclo curto de (85 a 90 dias);
- Boa produção de grãos;
- Forte demanda de óleo para indústria química;
- Ótimas características para biodiesel;
- Baixa incidência de pragas.

Não exige novas máquinas ou equipamentos para seu cultivo (FUNDAÇÃOOMS, 2010).

O óleo de crambe não é utilizado apenas para biodiesel, o óleo extraído da semente pode ser usado como lubrificante industrial, não é corrosivo, é um dos principais ingredientes na produção de borracha sintética, além de servir na produção de filmes plásticos, nylon, adesivos e isolante elétrico (OPLINGER e PITOL, 2008).

Outro potencial do óleo de crambe, quando refinado tem grande utilização no ramo farmacêutico, e na alimentação de pescado.

O óleo não pode ser utilizado para consumo humano, devido à presença de altos teores de ácido erucico, um ácido graxo mono insaturado de cadeia longa, com isso o farelo da semente (Figura 5) não é recomendado para alimentação de animais não ruminantes, devido existirem glucosinatos, os quais dois podem ser desdobrados no trato digestivo formando compostos que podem causar danos no fígado e nos rins dos animais, então ele só pode ser usado para alimentação de bovinos que são animais ruminantes.

Figura 5 - Farelo da semente de crambe.



Fonte: Autor (2018).

O crambe por muitos anos foi visto como cobertura para o solo, mas como seus índices de óleo são ótimos começou a ser estudado para verificar suas qualidades e funcionalidades, outro fator positivo é baixo custo de produção, Seu custo de produção variável se resume basicamente à semente (12 a 15 kg ha⁻¹), dessecação, operação de plantio, operação de colheita e transporte, variando de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 por hectare (PITOL, 2008).

O crambe por ser uma cultura de importância agrônômica no que diz a respeito de teor de óleo para o biodiesel precisa-se estabelecer doses de nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K) na sua adubação para o aumento do teor de óleo. Para o crambe, as respostas em relação aos fertilizantes são pouco conhecidas. Sabe-se que é uma planta que absorve alta quantidade de nitrogênio devido ao elevado teor de proteínas nos grãos (PITOL,2008).

Para obter o biodiesel é preciso fazer O processo de transesterificação do óleo extraído da semente de crambe, para isso utiliza-se o álcool metanol com a aplicação de 20%, para fazer o processo de retirar a glicerina, para acelerar o processo de mudança adiciona-se a soda cáustica, tem que ter cuidado com a

temperatura de 60°C á qual é utilizada para fazer a fermentação, se aumentar a temperatura o álcool evapora 66°C.

Na Tabela 2 observa-se a proporção em que diferentes ácidos graxos aparecem na constituição do óleo de crambe.

Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos (% m/m) do óleo de Crambe

Ácido Graxo	A*	B*	C*
C16: 0 Ácido Palmítico	3,4	1,8	2,51
C18: 0 Ácido Esteárico	1,1	0,7	1,12
C18: 1 Ácido Oléico	17,8	17,2	18,36
C18: 2 Ácido Linoleico	6,1	8,7	8,6
C18: 3 Ácido Linolênico	2,8	5,2	4,35
C20: 0 Ácido Araquídico	1,7	-	1,69
C20: 1 Ácido Eicosenóico	6,7	3,4	3,79
C22: 0 Ácido Behênico	3,7	2,0	2,14
C22: 1 Ácido Erúxico	56,7	56,2	54,77
C24: 0 Ácido Lignocérico	-	0,7	0,75
C24: 1 Ácido Nervônico	-	1,6	1,42

Fonte: Pitol (2015).

Para fazer a utilização do biodiesel deve-se levar em consideração o nível de acidez do óleo analisado. O grande problema está em catalisar reações intermoleculares dos triacilgliceróis, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão, além, da ação corrosiva sobre componentes metálicos no motor, vindo a danificar camisas de cilindro e anéis de segmento (Dantas *et al.*, 2006). O índice de acidez do biodiesel do crambe, é de 0,06 mg KOH g⁻¹, verifica-se, que este parâmetro foi cerca de 15 vezes inferior do que o máximo preconizado pela ANP (0,80 mg KOH g⁻¹).

2.10 NÚMERO DE CETANOS

O número de cetanos ou cetanagem para ciclo diesel indica a qualidade de ignição do biodiesel; mostra que compostos de cadeia linear saturada possuem, então quanto for maior o número de cetano de combustível, melhor vai ser a combustão. O índice médio do biodiesel é 60, enquanto para diesel mineral cetanagem situa entre

48 a 52 sendo bem menor que o do biodiesel, por isso o biodiesel tem uma queima melhor, e uma melhor economia (BIODIESELBR, 2006).

O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5%. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral (BIODIESELBR, 2006, p.1).

3 METODOLOGIA

Para atender os objetivos do trabalho foi analisado a metodologia por partes.

- O teste foi realizado através de um motor ciclo diesel 2.8 turbo *intercooler* 4 cilindros da camioneta S-10 da Chevrolet ano 2001;
- Realizar a extração do óleo de crambe através de uma máquina extrusora;
- Substituir o diesel convencional pôr o biodiesel de crambe, e partir disso verificar torque, potência, através do dinamômetro.

3.1 EXTRAÇÃO QUÍMICA POR HEXANO

Este método consiste na determinação da porcentagem de óleo utilizando o sistema *Soxhlet* como mostra na Figura 6, que garante a padronização do método para determinação de óleo em alimentos, ou para óleo de biodiesel, o reagente que utilizamos para a extração foi o hexano (C₆, H₁₄).

Esse método é aplicado a determinação de óleo de soja, e entre outras sementes oleaginosas, que no nosso caso foi a semente de crambe, que por esse método pode ter entre 30% a 35% de óleo.

Os equipamentos utilizados foram:

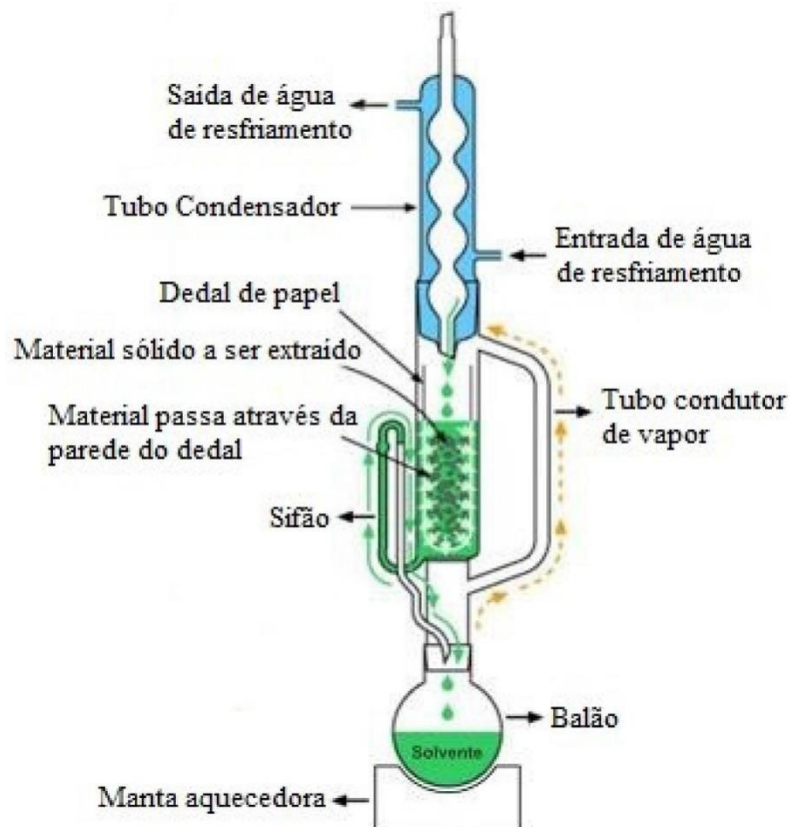
- Balança analítica;
- Estufa de secagem;
- Chapa elétrica ou manta aquecedora.

Os materiais utilizados foram:

- Dessecadora com sílica;
- Sistema *Soxhlet* (condensador e extrator);
- Balão redondo de fundo chato de 250 ml;
- Pape I filtro qualitativo de 18 cm de diâmetro;
- Espátula;
- Cartucho de metal com furos na parte inferior.

A semente de crambe foi seca em uma estufa à 60°C (temperatura que favorece a não desnaturação proteica da soja) por 1 hora, pois quanto menor o índice de umidade maior rendimento de óleo na extração. E realizou-se a moagem da amostra em liquidificador industrial, para obter a granulometria adequada. Armazenou-se a amostra em temperatura ambiente, em saco plástico hermético e etiquetado.

Figura 6 – Sistema Soxhlet.



Fonte: Costa (2017).

Modo de preparo do sistema e da amostra.

- Preparo do balão volumétrico: após lavado, levou-se para estufa de secagem a 100°C por 1 hora, para eliminar a umidade presente na vidraria, retirou-se e colocou-se no dessecador com sílica, se obteve a pesagem do balão vazio, utilizando uma pinça de metal para não ocorrer contato com as mãos.
- Pesou-se 5 g da amostra moída e seca em papel filtro (dobradura de cartucho);

- Inserir-se a amostra dentro do cartucho de metal e colocou-se no extrator;
- Preencheu o extrator com Hexano, aproximadamente 180ml;
- Ligou-se o fluxo de água contínuo para o condensador;
- Ligou-se a manta aquecedora a 68°C, ponto de ebulição do solvente;
- Para observar a temperatura no sistema foi utilizado um termômetro infravermelho;
- Realizou-se a extração por 2 horas (recomendado para rendimento 6 horas);
- Recuperou-se o solvente;
- Retirou-se o balão e o levou para estufa à 100°C por 1 horas;
- Levou-se para o dessecador.

Depois de ter realizado todo esse processo, tivemos que fazer a recuperação do solvente por um processo de destilação como mostra a Figura 7, mesmo processo utilizado para a destilação da cachaça, aquecendo o Hexano a 60°C assim ocorrendo a separação do reagente e do óleo de crambe, demorando em torno de uma hora a duas para ter uma separação completa.

Figura 7- Destilação do Hexano.



Foi observado que é um processo muito demorado, que a cada 500g da semente demorava-se 6 horas para extração do óleo de crambe optou-se por realizar a extração através da prensa extrusora, por ser um processo mais rápido, e pelo fato de não se ter muita matéria prima, só havia 10 quilos da semente, assim, o processo de extrusão foi escolhido por questão de custos e tempo.

Outro fator é que não teria precisão de quantos litros de hexano seria necessário para realizar toda a extração do óleo, mesmo fazendo o processo de destilação, não foi possível recuperar 100% do produto, sempre havendo uma perda.

3.2 PRENSA EXTRUSORA

Para realização da extração do óleo de crambe optou-se por realizar-se através de uma prensa extrusora, por ser um processo mais rápido e por ter pouca matéria prima, através desse processo de prensagem consegue-se retirar até 28% de óleo, menor que métodos químicos como o hexano, por exemplo, que chega a ter até 35% de óleo extraído da semente, mas mais rápido, sendo possível a extração de 10 quilos em 2 horas.

A prensa que utilizada foi da empresa Bindgalvão, que se encontra instalada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em Cascavel – PR. Uma das vantagens da prensa quando comparada a outros métodos de extração são:

- Dispensa o uso de caldeira, lenha, micro-ondas ou estufas de secagem para grãos, no nosso caso tivemos que aumentar a umidade do crambe nas primeiras amostras;
- Processo de extração e tostagem realizado em um único equipamento;
- Não necessita de solvente para o processo de extração do óleo;
- Menor custo operacional;
- Baixo consumo de energia;
- Não agride o meio ambiente;
- Versatilidade na produção, extraíndo óleo: soja, nabo forrageiro, crambe, girassol, linhaça, canola, amendoim, pinhão manso, etc.;
- Alta competitividade no mercado do óleo e farelo, pela oferta de um produto sem contato químico mantendo alto teor de proteína e energia;

- Óleo de alta qualidade, considerado extra virgem, devido à extração em um único processo a frio;
- Farelo de excelente qualidade para produção de rações.
- Não necessita de mão-de-obra especializada;
- Facilidade na ampliação dos equipamentos visando maior produção.

Para iniciar a extração aqueceu-se a máquina até 140 °C e uma rotação de 1750 RPM, a extração começou às 8 horas da manhã e acabou por volta das 10 horas da manhã, na Figura 8 visualizamos o modelo da máquina utilizada, foi a 7590, produção diária em grãos de 1500kg a 2000kg (BINDGALVÃO, 2018).

Figura 8 - Prensa extrusora.



Fonte: Autor (2018).

Como o equipamento não é uma prensa automatizada na questão de alimentação da semente para extração, viu-se a necessidade de abastecê-la constantemente através de um copo de Becker de 600 ml como mostra a Figura 9, sempre observando através da pressão de prensa quando estava faltando semente, e assim a abastecendo novamente, seguindo este processo até o final da extração.

Figura 9- Abastecimento da prensa com crambe.



Fonte: Autor (2018).

Através desse processo obteve-se os dois litros de óleo de crambe, para realizar-se o teste. Depois de ser extraído teve-se que deixar o óleo parado dentro de um galão para ocorrer o processo de decantação, e filtragem.

Como o processo de extrusão da semente é realizado com todas as suas impurezas, sempre acaba caindo farelo dentro do óleo, as próprias impurezas da semente, por isso viu-se a necessidade de realizar o processo de filtragem e deixar o óleo de um dia para outro parado, para haver o processo de decantação.

Com essa quantidade de óleo extraído foi possível desenvolver a Tabela 3, para a realização dos testes, devido ao fato de se misturar com o diesel S500.

Tabela 3 - Porcentagem de biodiesel no diesel %

Teste	Biodiesel	Diesel	Porcentagem
1	0,5l	0l	100%
2	0,375l	0,125l	75%
3	0,4l	0,1l	80%
4	0,25l	0,25l	50%
5	0,15l	0,35l	30%
6	0,2l	0,3l	40%
7	0,09l	0,41l	18%

Fonte: Autor (2018).

Com essa relação adiciona-se a porcentagem em cada amostra como mostra a Figura 10, às amostras de óleo de crambe e a porcentagem de diesel S500, para fazer a realização do teste no motor MWM 2.8 turbo *intercooler*.

Figura 10 - Amostras do óleo de crambe com diesel s500



Fonte: Autor (2018).

O diesel S500 esteve em motores de muitos veículos potentes durante muitos anos, ele tem esse nome pelo fato de ter 500 partículas / milhão de combustível, ele ainda é comercializado e deve ser usado em carros ou caminhões com ano inferior a 2012, para que seu rendimento não seja afetado, por isso escolhemos o S500 para mistura, pelo fato de ter uma grande demanda, e para verificar se ele aceita grandes porcentagens de biodiesel. Outro fato é que o motor que realizamos o teste é do ano de 2001.

3.3 MOTOR PARA TESTE

O teste será realizado em um motor MWM 2.8 diesel turbo *intercooler* 4 cilindros, que se encontra em uma S-10 ano 2001 da marca Chevrolet. (Figura 11)

- Cilindrada igual a 2,796 cm³;
- Potência máxima igual a 132 CV á 3600 RPM;
- Torque máximo de 34 kgfm á 1800 RPM;
- Velocidade máxima igual a 171 km/h e aceleração de 0 a 100 em 13,2 segundos (VRUUM, 2010).

Foi escolhido este motor pelo fato de ter o sistema de injeção direta, apenas com uma bomba injetora realizando pressão e mandando para os bicos injetores, e como a quantidade de óleo extraída era pouca, não seria possível em um veículo com injeção eletrônica onde a pressão do sistema é feita por uma bomba de combustível dentro do tanque, pois a cada teste deve-se realizar-se a retirada do combustível.

Figura 11 - Motor MWM 2.8 turbo *intercooler*.



Fonte:Autor (2018).

Esse motor a montadora *General Motors* (GM) adotou para camionetes s-10 e blazer no ano de 2000 e 2001, teve uma boa aceitação por ser um motor com índices baixos de manutenção e um bom consumo, chegando a fazer 12 quilômetros com um litro de diesel.

3.4 LOCAL DE TESTE

Para realizar-se o teste do óleo de crambe teve-se que colocar a camionete s-10 em um dinamômetro para poder ser feito o teste de potência e torque.

O teste foi realizado na empresa Injediesel- powe-chip, que se encontra instalada em Cascavel - PR com latitude: 24° 57' 21" S e longitude: 53° 27' 19" W (Figura 12).

O dinamômetro consegue ter parâmetros entre potência e torque através de um rolo, onde o veículo é colocado sobre ele e acelerado até 2800 RPM no caso da camionete testada.

Figura 12 - Rolo dinamômetro.



Fonte: Autor (2018).

Figura 13 - Teste realizado no dinamômetro com temperatura estabilizada.



Fonte: Autor (2018).

Para que os ensaios no dinamômetro sejam sempre uniformes e as condições de ensaio possam sempre ser replicadas, existe a necessidade de seguir-se um procedimento padrão, que, neste caso, é definido pela norma técnica NBR ISO 1585. Para a obtenção de curvas de potência líquida de motores a combustão interna.

3.5 MÉTODO DE TESTE DO BIODIESEL

Para a realização do teste do biodiesel foi desenvolvido um sistema de injeção com um tanque de combustível externo para cada mistura do biodiesel, para não ter contato com o diesel convencional que a camionete usa como mostra a Figura 14, o problema encontrado foi que não foi possível realizar o teste uma garrafa por vez, devido ao fato dela usar uma bomba injetora mecânica, com isso toda vez que era necessário trocar de garrafa de biodiesel para o teste, entrava-se ar no sistema de injeção, e a camionete não entrava em funcionamento, assim teria que sangrar os bicos toda vez que realizasse o teste de cada amostra, desperdiçando biodiesel, e não tendo como efetuar o teste no dinamômetro.

Figura 14- Sistema para teste do biodiesel



Fonte: Autor (2018).

Com esse sistema realizou-se o teste do biodiesel, não tendo entrada de ar no sistema e também sem misturas de amostras.

O teste foi realizado da seguinte maneira:

- Abriu-se a válvula da primeira garrafa de biodiesel e na mesma hora o retorno, com isso realizando o teste da primeira amostra.
- Em seguida fechou a válvula de entrada da primeira garrafa, e abriu a válvula da segunda garrafa junto com o retorno, com esse método de teste não teve contaminação de amostra, e foi realizado o mesmo procedimento para as demais amostras.
- A bomba injetora funcionava corretamente e mandava combustíveis para os bicos.

Foi realizado 3 testes no dinamômetro em cada amostra como mostra a Figura 15 para estabilizar bem o biodiesel.

Não foi encontrado nenhum problema com a utilização do biodiesel de crambe sendo ele puro ou em proporções com o diesel S500, o motor funcionou perfeitamente e não teve necessidade de nenhum ajuste mecânico.

Figura 15 - Amostras de biodiesel.



A realização do teste teve início às 8 horas da manhã, e foi encerrado às 9 horas da manhã, uma hora de teste para todas as amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CÁLCULO DO TORQUE DO MOTOR.

O torque de um motor é desenvolvido e relacionado com a capacidade do motor produzir movimentos podendo dar resposta a várias solicitações. O torque em um motor 4 tempos é medido somente no tempo de expansão, nos outros tempos se produz um torque resistente só.

O torque máximo não é atingido na rotação máxima do motor e sim na pressão máxima.

$$Mt = 71629 \cdot \frac{CV}{N} \quad (4)$$

Onde Mt é o torque, N é o número de rotações por minuto e 71620 é o fator de conversão para kgf.cm.

Assim realizou o cálculo teórico do torque do motor das diversas amostras.

- S500

$$T = 71620 \cdot \frac{166.18CV}{2800RPM}$$

$$T = 4250,6Kgf.cm$$

$$T = \frac{4250,6Kgf.cm}{100}$$

$$T = 42,5 Kgf.m$$

- Com 100% de biodiesel

$$T = 71620 \cdot \frac{167.69CV}{2800RPM}$$

$$T = 4289,3Kgf.cm$$

$$T = \frac{4289,3Kgf.cm}{100}$$

$$T = 42,9 Kgf.$$

- Com 75% de biodiesel

$$T = 71620 \cdot \frac{170,21CV}{2800RPM}$$

$$T = 4353,7Kgf.cm$$

$$T = \frac{4353,7Kgf.cm}{100}$$

$$T = 43.5Kgf.m$$

- Com 80% de biodiesel

$$T = 71620 \cdot \frac{170,34CV}{2800RPM}$$

$$T = 4357,1Kgf.cm$$

$$T = \frac{4357,1Kgf.cm}{100}$$

$$T = 43,6 Kgf.m$$

- Com 50% de biodiesel

$$T = 71620 \cdot \frac{176,42CV}{2800RPM}$$

$$T = 4512,6Kgf.cm$$

$$T = \frac{4512,6Kgf.cm}{100}$$

$$T = 45,1 Kgf.m$$

- Com 30% de biodiesel

$$T = 71620 \cdot \frac{176,06CV}{2800RPM}$$

$$T = 4503,4Kgf.cm$$

$$T = \frac{4503,4Kgf.cm}{100}$$

$$T = 45 Kgf.m$$

- Com 40% de biodiesel

$$T = 71620. \frac{174.04CV}{2800RPM}$$

$$T = 4451,7Kgf.cm$$

$$T = \frac{4451,7Kgf.cm}{100}$$

$$T = 44,5 Kgf.m$$

- Com 18 % de biodiesel

$$T = 71620. \frac{172,39CV}{2800RPM}$$

$$T = 4409,5Kgf.cm$$

$$T = \frac{4409,5Kgf.cm}{100}$$

$$T = 44,1 Kgf.m$$

4.2 POTÊNCIA EFETIVA

A potência efetiva considera perdas caloríficas e mecânicas e é obtido na roda utilizando um dinamômetro de rolo.

$$Pe = T.N.1,396263.10^{-3} \quad (5)$$

Onde Pe é a potência efetiva (CV), T é o torque e $1,396263.10^{-3}$ é o fator de correção para CV. Assim realizou os cálculos.

Potência efetiva para o s500

$$Pe = 43.77.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 171.1cv$$

Potência efetiva para 100% de biodiesel

$$Pe = 44.19.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 172.8 CV$$

Potência efetiva para 75% de biodiesel

$$Pe = 45.36.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 177.3 cv$$

Potência efetiva para 80% de biodiesel

$$Pe = 44.7.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 174.8 CV$$

Potência efetiva para 50% de biodiesel

$$Pe = 46.73.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 182.7CV$$

Potência efetiva para 30% de biodiesel

$$Pe = 45.6.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 178.3 CV$$

Potência efetiva para 40% de biodiesel

$$Pe = 45.68.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 178.6 CV$$

Potência efetiva para 18% de biodiesel

$$Pe = 45.37.2800.1,396263.10^{-3}$$

$$Pe = 177.4 CV$$

O torque usado na fórmula e a rotação foram tirados dos gráficos que foram impressos no teste do dinamômetro, que se encontra no Anexo 1.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS.

Conforme mostrado na Tabela 4 a melhor amostra de biodiesel foi a de número 4 com 0,250 ml de biodiesel de crambe e 0,250 ml de diesel s500 ela teve um bom resultado no torque do motor e aumentou na potência.

Tabela 4 - Análise da melhor amostra

Teste	Biodiesel Crambe	Diesel	Porcentagem	Torque kgfm	Potência CV	Potência máxima em roda CV	Rotação RPM
1	0,500 ml	0,0 ml	100%	44.19	167.69	159.48	2800
2	0,375 ml	0,125 ml	75%	45.36	170.21	162.03	2800
3	0,400 ml	0,100 ml	80%	44.7	170.34	163.03	2800
4	0,250 ml	0,250 ml	50%	46.73	176.42	169.35	2800
5	0,150 ml	0,350 ml	30%	45.6	176.06	168.9	2800
6	0,200 ml	0,300 ml	40%	45.68	174.04	166.88	2800
7	0,09 ml	0,410 ml	18%	45.37	172.39	165.4	2800

Fonte: Autor (2018).

Tabela 5 - Comparação do diesel s500 com o biodiesel.

AMOSTRA	POTÊNCIA CV	TORQUE KGFM	POTÊNCIA MÁXIMA EM RODA CV	ROTAÇÃO RPM
BODIESEL CRAMBE 50%	176.42	46.73	169.35	2800
DIESEL COMUM	166.18	43.77	159.18	2800

Fonte :Autor (2018).

Analisando todos os testes o que mais se destacou foi o de 50%, mas observando com o diesel S500 todas as amostras com a porcentagem do biodiesel tiveram um pequeno aumento, tanto em potência como em torque.

5 CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos é possível verificar que as misturas têm um pequeno aumento na potência obtida através do dinamômetro, e um aumento no torque.

Pelas análises feitas em relação às outras porcentagens de misturas de biodiesel de crambe podemos afirmar que o biodiesel de crambe de 50% de mistura com o óleo diesel é o que tem melhor desempenho em função de torque e potência. Mesmo as outras amostras tendo um torque e uma potência menor que a proporção de 50%, ainda assim é maior que o diesel S500.

O que pode não tornar a utilização do biodiesel viável é a questão econômica, pelo fato de não ter essa plantação aqui na nossa região e o armazenamento da semente, a questão da extração do óleo, está se barateando, temos bastante mercado de máquinas extrusoras na nossa região.

A projeção do acréscimo para o biodiesel no Brasil para o ano de 2020 é a utilização do (B20), mistura de 20% de biodiesel e 80% de diesel, essa mistura pode ser feita com o óleo de crambe, já que com 18% do óleo teve um aumento significativo entre torque e potência.

Analisando os resultados encontrados pode-se verificar que a utilização do biodiesel a partir da semente de crambe é viável, e como hoje estamos sofrendo com crises, greves nesse setor é importante o estudo de novas fontes de energias, ou novos combustíveis.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalharmos futuros sugere-se:

- Realizar testes do biodiesel de crambe focado em economia, e viabilidade técnica, analisando rendimento efetivo do motor.
- Realizar uma comparação entre o óleo de crambe e de soja, para analisar qual terá um rendimento, potência e torque melhor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANACE - **Crise Energética Brasileira** – Disponível em www.anacebrasil.org.br (acesso em 23/03/2018).

ANP – **Biocombustíveis** – Disponível em www.anp.gov.br (acesso em 20/03/2018).

ANP - **Introdução do Biodiesel** – Disponível em www.anp.gov.br (acesso em 20/04/2018).

ANP – **Introdução do biodiesel** – Disponível em www.anp.gov.br (acesso em 20/09/2017).

BINDGALVAO – **Biocombustível** – Disponível em: www.bindgalvao.com.br/biocombustivel (acesso em 26/11/2017).

BIODIESELBR - **Motor diesel** - Disponível em <http://www.biodieselbr.com> (acesso em 08/03/2018).

BIODIESELBR – **Vantagens do biodiesel** – Disponível em: www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel.htmhttp (acesso em 18/03/2018).

BIODIESELBR- **Números de cetanos** – Disponível em www.biodieselbr.com/especificações/propriedades físicas (acesso em 09/10/2017).

BIODIESELBR- **Óleo de crambe** – Disponível em www.biodieselbr.com/revista/027 (acesso em 08/10/2017).

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**, volume 1, São Paulo: EDUSP, 1990.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva da agroenergia**. IICA, Brasília (Brasil), 2007.

COMCIENNCIA – **Petróleo** – Disponível em: <http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/petroleo/pet09.shtml> (acesso em 26/11/2017).

CRAMBE – **Caracterização do Biodiesel de crambe** - Disponível em www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/download/854/1196 (acesso em 23/04/2018).

DESAI, B. B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 627 p. 1997.

ESCOLA – **Biodiesel** – Disponível em <https://www.infoescola.com/quimica/biodiesel> (acesso em 25/11/2017).

ESCOLA – **Diesel** – Disponível em - <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/diesel.htm> (acesso em 20/11/2017).

ESCOLA – **Processo de transesterificação** – Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/reacoes-transesterificacao.htm>> (acesso em 5/11/2017).

FUNDAÇÃOMS- **Óleo de crambe**- Disponível em <www.fundaçaooms.com.br> (acesso em 25/09/2017).

G1 – **Porcentagem de biodiesel no diesel** – Disponível em <<https://g1.globo.com/carros/noticia/diesel-passa-a-ter-8-de-biodiesel-percentual-chegara-a-10-em-2019.ghtml>> (acesso em 27/10/2017).

G1 – **Preço do petróleo sobe e bate marca de US\$ 60 por barril, no maior valor desde 2015** – Disponível em <<https://g1.globo.com/economia/mercados/noticia/preco-do-petroleo-sobe-e-bate-marca-de-us-60-por-barril-no-maior-valor-desde-2015.ghtml>> (acesso em 23/03/2018).

GREENPEACE – **Vazamento de petróleo** – Disponível em <www.greenpeace.org/brasil> (acesso em 20/10/2017).

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**, Edição, p. 17, p. 71, p. 126 ,2006.

OPLINGER, E.S.; OELKE, E.A.; KAMINSKI, A. R.; PUTNAM, D. H.; TEYNOR, T. M.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. **Crambe: alternative field crops manual**. St. Paul: University of Wisconsin and University of Minnesota, 2000. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2018

Pecuária e Abastecimento. – BRASÍLIA: MAPA/SPA. 112 p. 2007

PUGLIESI, M. **Manual completo do automóvel**. São Paulo: Ed. Hemus, 1997.

PITOL, C. Cultura do Crambe. **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno**. Maracaju: Fundação MS, 2008. Disponível em: Acesso em: 06 de abril de. 2018.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e Produção: Crambe 2010**. Maracaju-MS, Ed. Maracaju, 60 p., 2008

SBQ – **Número de cetano** – Disponível <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/34ra/resumos/T0429-1.pdf>> (acesso em 02/11/2017).

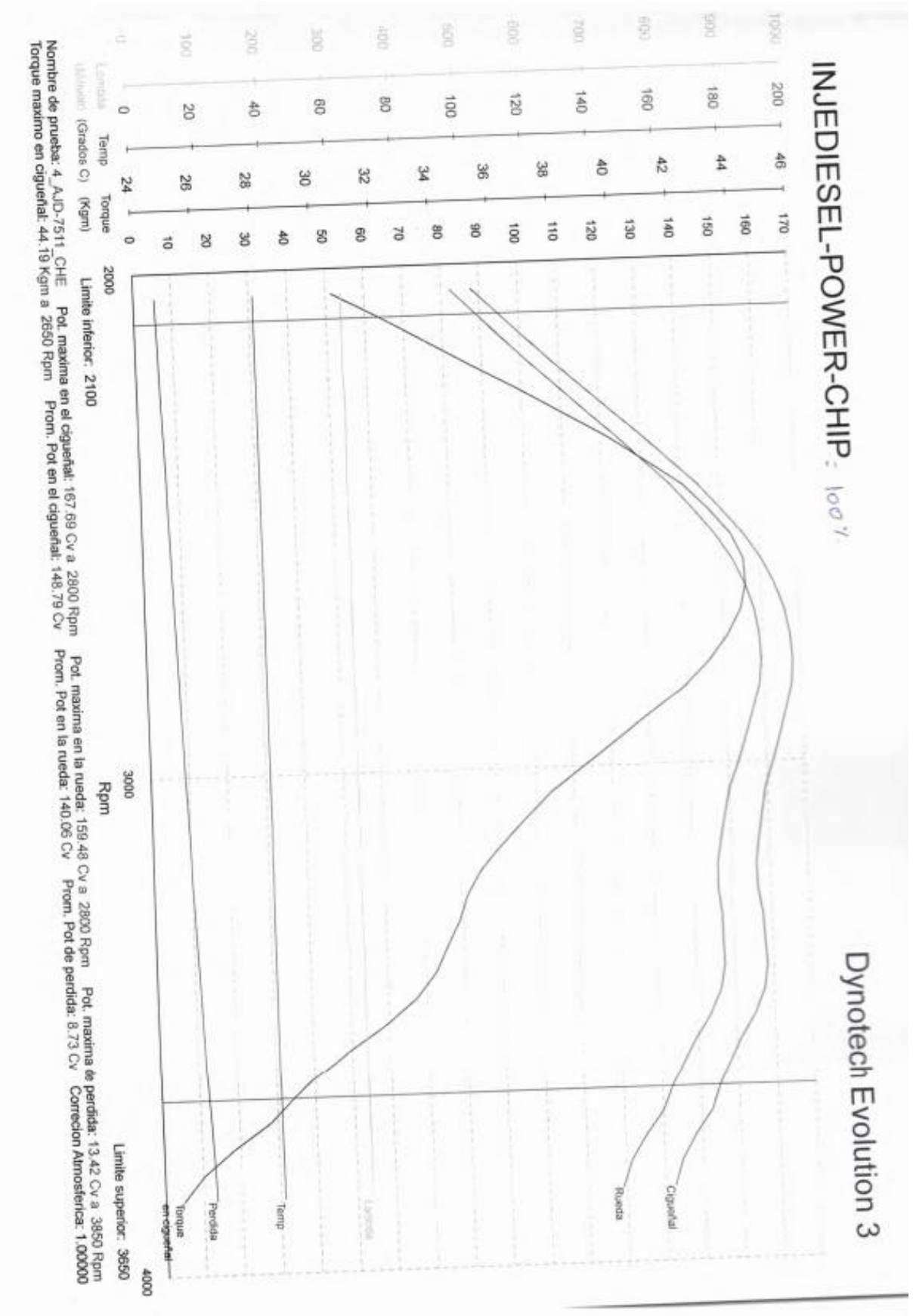
SANTOS, V. M. L.; SILVA, J. A. B.; STRAGEVITCH, L.; LONGO, R. L. Thermochemistry of biodiesel oxidation reactions: A DFT study. Fuel (Guildford), v. 90, n.2, p. 811-817, 2008.

TAYLOR, C. F. **Análise dos motores de combustão interna**, volume 1, São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1971.

VRUM – **Ficha técnica** – Disponível em <[www.vrum.com.br/ficha técnica/ Chevrolet](http://www.vrum.com.br/ficha_tecnica/Chevrolet)> (acesso em 25/10/2017).

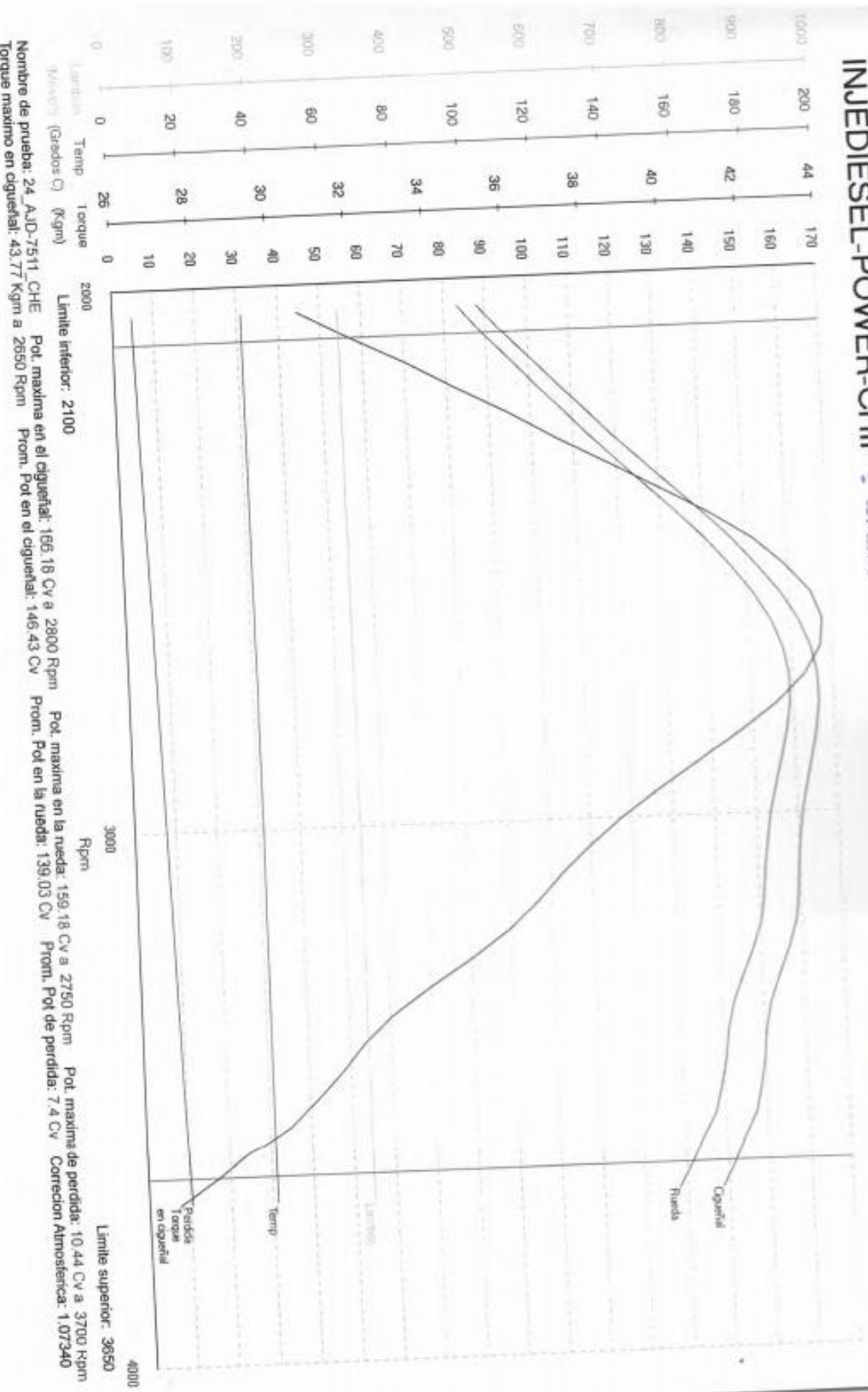
ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P.; COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja em frituras.** Química Nova, v.23, n.4, p.531- 537 2000.

ANEXO 1 – GRÁFICOS DO TESTE DO DINAMÔMETRO



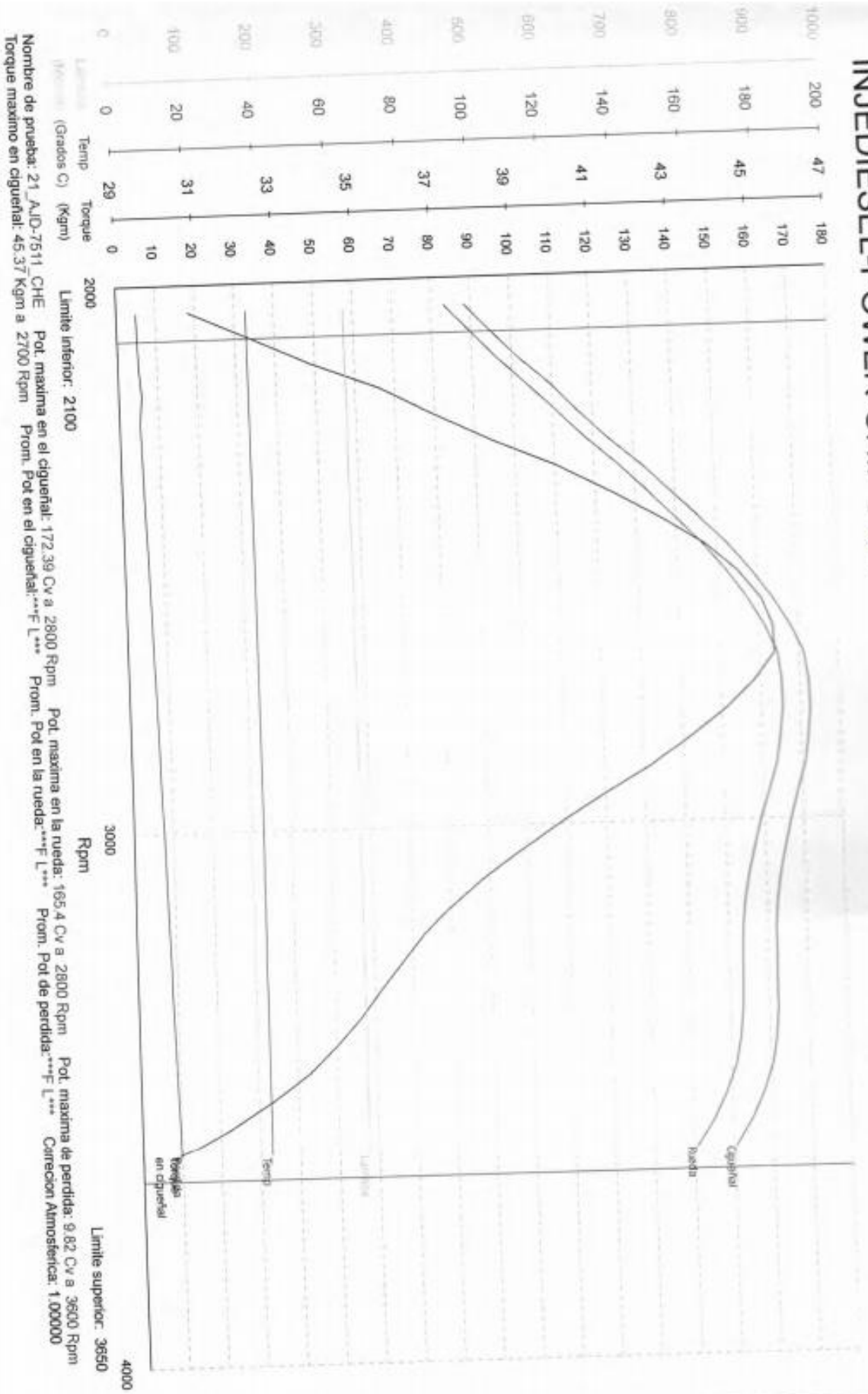
INJEDIESEL-POWER-CHIP = Cummins

Dynotech Evolution 3



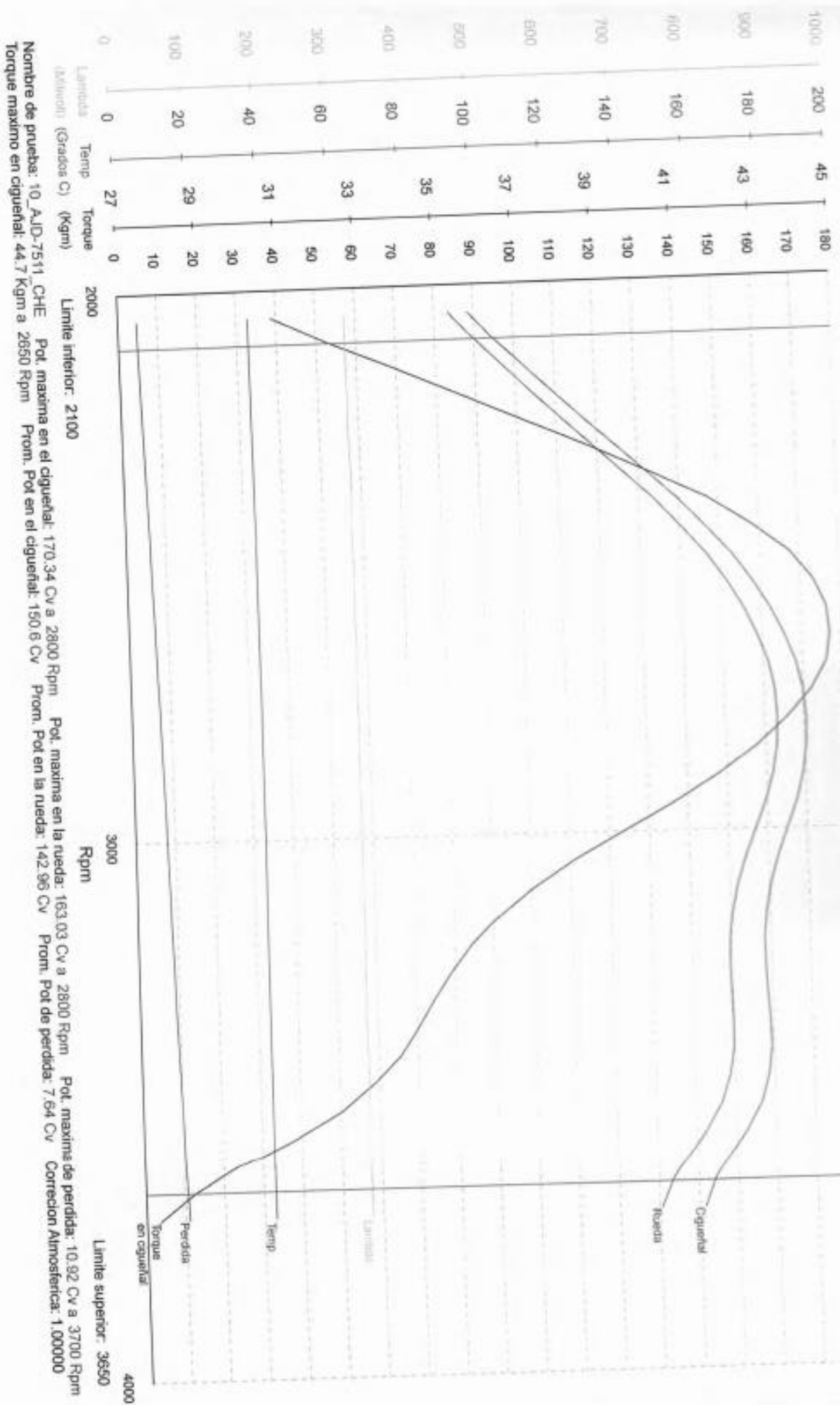
INJEDIESEL-POWER-CHIP : 18''

Dynotech Evolution 3



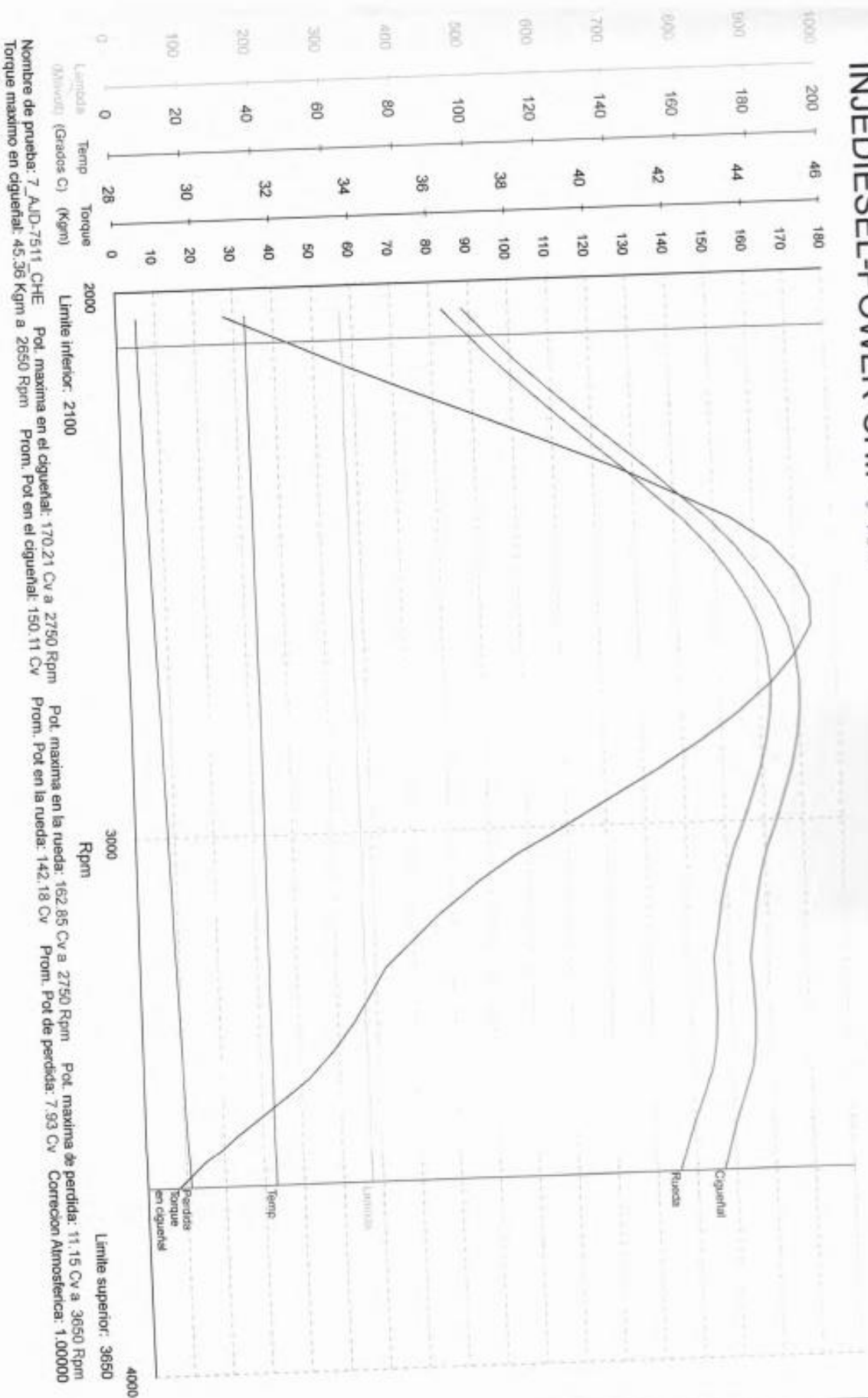
INJEDIESEL-POWER-CHIP = 80%.

Dynotech Evolution 3



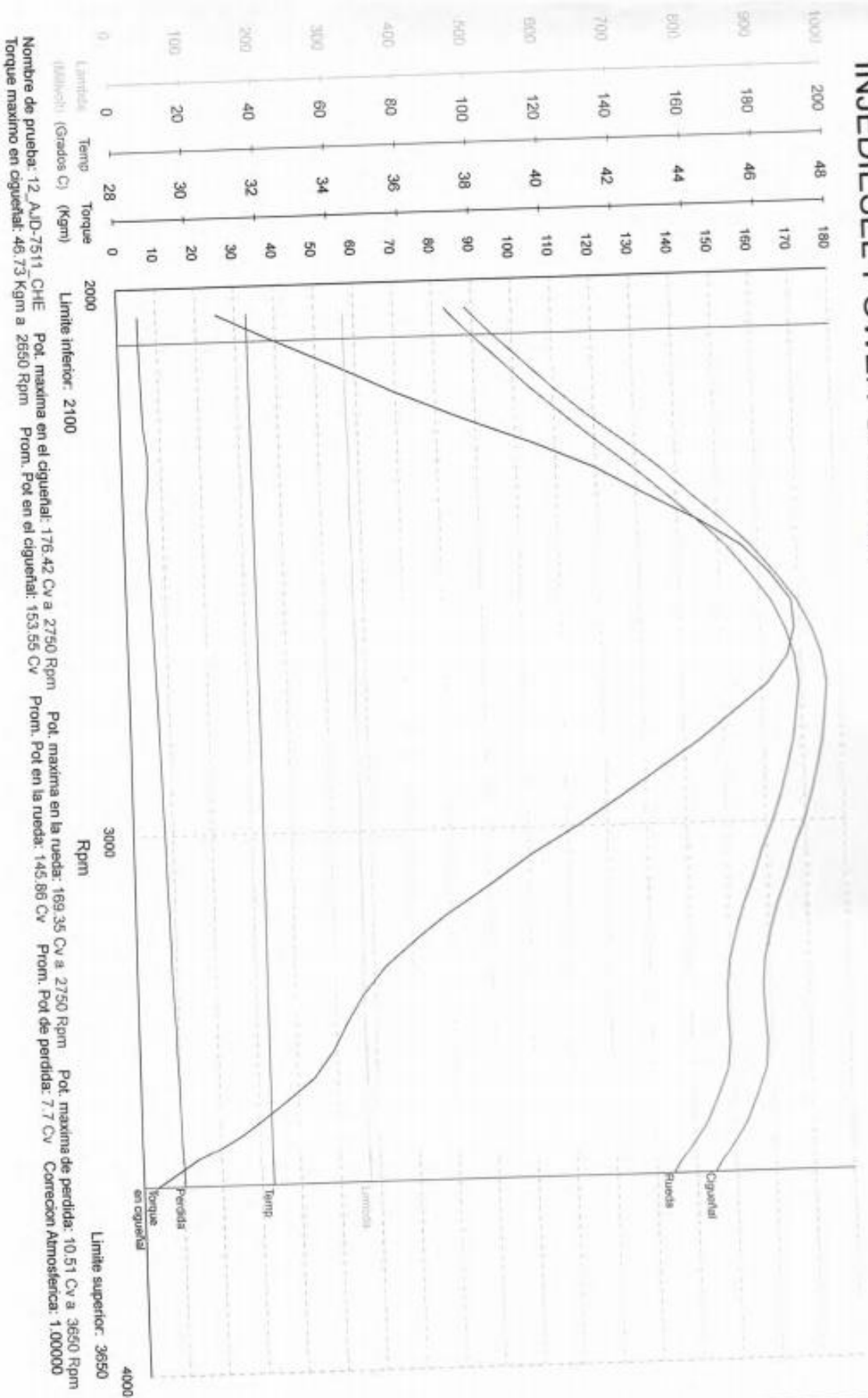
INJEDIESEL-POWER-CHIP = 75%.

Dynotech Evolution 3



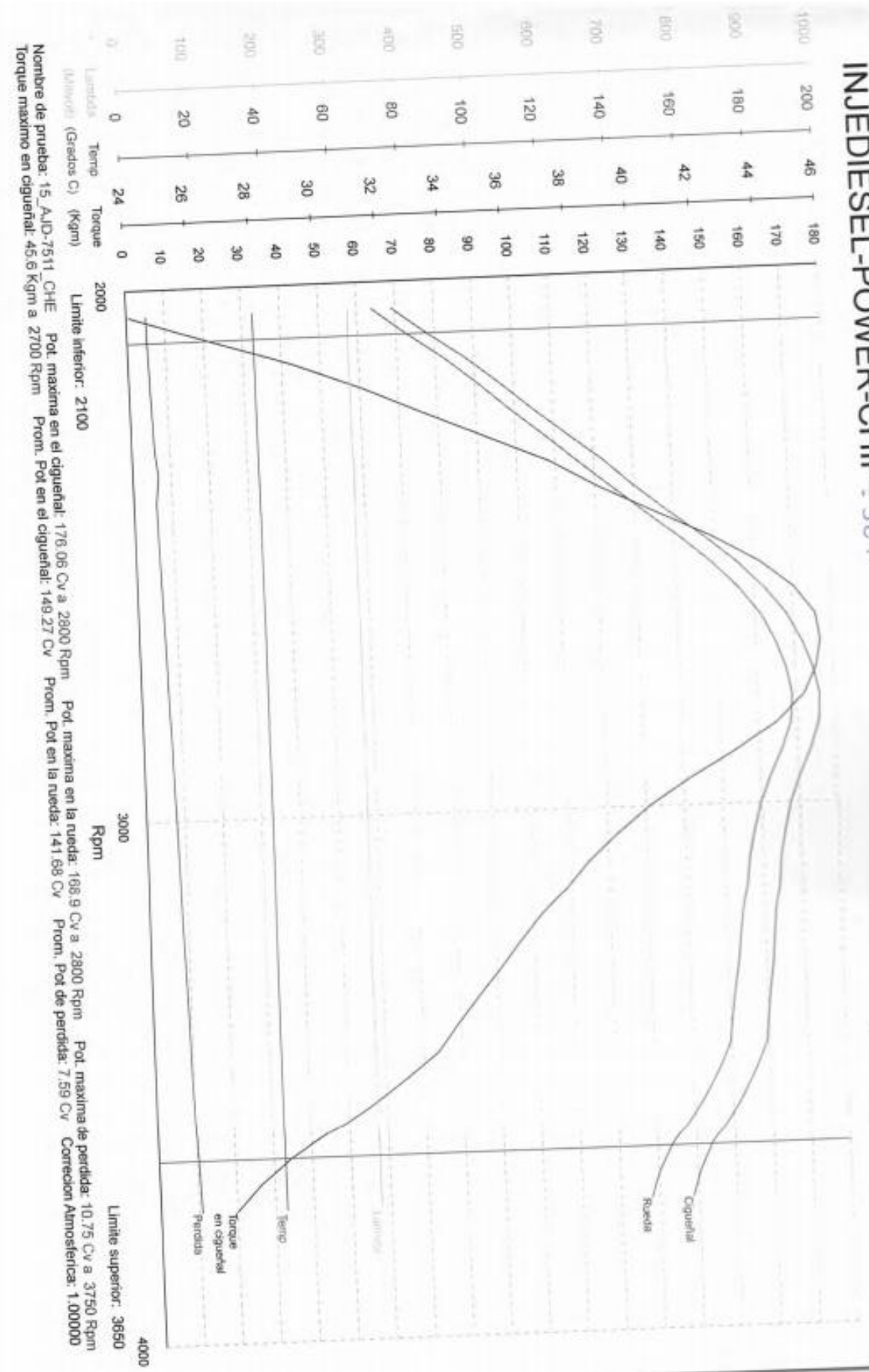
INJEDIESEL-POWER-CHIP : 50'

Dynotech Evolution 3



INJEDIESEL-POWER-CHIP = 30%

Dynotech Evolution 3



INJEDIESEL-POWER-CHIP = 90 %

Dynotech Evolution 3

