

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
GUSTAVO VEBER

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AVANÇO DE IGNIÇÃO EM RELAÇÃO AO
FATOR LAMBDA E A POTÊNCIA GERADA EM UM MOTOR**

CASCATEL - PR
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
GUSTAVO WEBER

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AVANÇO DE IGNIÇÃO EM RELAÇÃO AO
FATOR LAMBDA E A POTÊNCIA GERADA EM UM MOTOR**

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

Professor (a) Orientador (a): Me. Carlos Alberto Breda

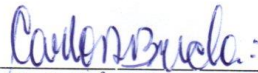
CASCADEL – PR
2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
GUSTAVO VEBER**

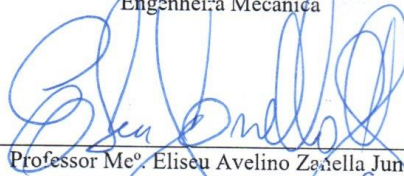
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AVANÇO DE IGNIÇÃO EM RELAÇÃO AO
FATOR LAMBDA E A POTÊNCIA GERADA EM UM MOTOR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Carlos Alberto Breda

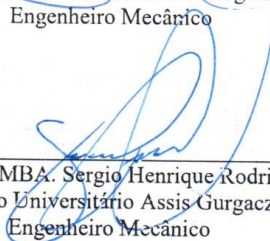
BANCA EXAMINADORA



Orientador Profº. Meº. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Mecânica



Professor Meº. Eliseu Avelino Zarella Junior
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor MSc. MBA. Sergio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 27 de novembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e minha namorada,
por todo incentivo e ajuda para que isso fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades diárias.

Aos meus pais, por fazerem parte desta caminhada, sempre me ajudando quando necessário.

A minha namorada, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos professores, que me auxiliaram no aprendizado permitindo que eu pudesse hoje estar concluindo mais essa etapa, principalmente ao meu orientador, que me acompanhou durante o trabalho esclarecendo dúvidas e fazendo com que fosse finalizado com sucesso.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela ajuda e compreensão das ausências durante os estudos.

RESUMO

O motor à combustão interna de ciclo Otto de 4 tempos utiliza-se do aumento da pressão interna do cilindro, efeito resultante da combustão gerada pela mistura de ar-combustível para realizar o movimento de rotação no motor. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da curva de ignição em relação ao fator lambda e a potência gerada de um motor. A alteração dos parâmetros de ignição será feita por meio de um módulo de injeção programável, marca Fueltech modelo FT 300, em um motor acoplado a um dinamômetro de motores. Com os gráficos gerados apenas modificando o avanço de ignição do motor, um comparativo entre eles será feito, mostrando assim; se há relação entre a curva de ignição e o fator lambda, gerado pela combustão do motor e os seus efeitos na potência criada.

Palavras-chave: Motores ciclo Otto, Fator Lambda, Curvas de ignição.

ABSTRACT

The 4-stroke Otto cycle internal combustion engine utilizes increased cylinder internal pressure, the effect of combustion generated by the air-fuel mixture to rotate the engine. The present work aims to evaluate the influence of the ignition curve in relation to the lambda factor and the generated power of an engine. The ignition parameters will be changed using a Fueltech Model FT 300 programmable injection module on an engine coupled to an engine dynamometer. With the graphs generated only modifying the engine ignition advance, a comparison will be made showing whether there is a relationship between the ignition curve and the lambda factor generated by the engine combustion and its effects on the generated power.

Keywords: Otto cycle engines, Lambda factor, Ignition curves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quatro tempos de um motor 4 cilindros.	15
Figura 2: Chicote instalado no motor.	21
Figura 3: Gráfico RPM x Lambda estável gerado.	22
Figura 4: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 gerados pelo módulo programável.	23
Figura 5: Gráfico de potência e torque no motor em função da rotação no teste de máxima potência obtida.	23
Figura 6: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 2 gerados pelo módulo programável.	24
Figura 7: Gráfico de potência x torque em função da rotação do teste 2.	25
Figura 8: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 3 gerados pelo módulo programável.	26
Figura 9: Gráfico de potência x torque em função da rotação do teste 3.	27
Figura 10: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 combinado com o teste 2 gerados pelo módulo programável.	28
Figura 11: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 combinado com o teste 3 gerados pelo módulo programável.	29
Figura 12: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 2 combinado com o teste 3 gerados pelo módulo programável.	29
Figura 13: Gráfico dos dados de funcionamento combinando todos os testes juntos, gerados pelo módulo programável.	30

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES

A/F – Air fuel (ar combustível)

BTDC – Before top dead center (antes do ponto morto superior)

°C – Grau Celsius

CV – Cavalo vapor (unidade de medida de potência)

HP – Horse Power

Kgf.m – Quilograma Força Metro

MIE – Motores de Ignição Espontânea ou Diesel

MIF – Motores de Ignição Por Faísca ou Otto

NGK – Nihon Gaishi Kabushiki Gaisha (empresa fabricante de velas de ignição)

PMI – Ponto Morto Inferior

PMS – Ponto Morto Superior

RPM – Rotações por Minuto

TAI – Temperatura de autoignição

VHC – Very High Compression

4T – Quatro tempos

% – Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 ASSUNTO / TEMA	10
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES	12
1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA	12
1.5.1 Objetivo Geral.....	12
1.5.2 Objetivos Específicos	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS	13
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES ALTERNATIVOS QUANDO À IGNIÇÃO	13
2.3 ÂNGULO DE IGNIÇÃO	14
2.4 MOTORES ALTERNATIVOS A QUATRO TEMPOS (4T)	14
2.5 RELAÇÃO AR-COMBUSTÍVEL, EXCESSO DE AR E RIQUEZA DA MISTURA.....	15
2.6 PRÉ-IGNIÇÃO E DETONAÇÃO	16
2.7 TIPO DE COMBUSTÍVEL E QUALIDADE.....	16
2.8 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR	17
2.9 SISTEMA DE IGNIÇÃO	17
2.10 SENSOR DE OXIGÊNIO	17
2.11 SENSOR DE ROTAÇÃO DO MOTOR	18
2.12 COMBUSTÍVEL GASOLINA	18
2.13 DINAMÔMETRO ELÉTRICO DE MOTORES	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 INSTALAÇÃO DO CHICOTE NO MOTOR	20
3.2 PROGRAMAÇÃO INICIAL	21
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	22
4.1 RESULTADO TESTE 1	22
4.2 RESULTADO TESTE 2	24
4.3 RESULTADO TESTE 3	26
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS	28
5 CONCLUSÃO	31
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

O avanço das novas tecnologias em busca de maior rendimento e economia de recursos não renováveis é constante, por isso a atualização dos motores e de suas programações evoluem constantemente, buscando motores cada vez mais potentes com menor consumo de combustível.

Neste trabalho de conclusão de curso, foi desenvolvido uma análise sobre a influência da ignição no quesito potência e fator lambda gerado pelo motor. A partir dos dados coletados, uma avaliação foi feita comparando os gráficos obtidos.

O motor utilizado para testes foi um motor que equipa veículos da linha Chevrolet, conhecido como motor 1.0 VHC, que originalmente calibrado pela montadora, possui 70 cavalos de potência e 8,8 kgf.m de torque.

Para esta análise foi utilizado um módulo de injeção programável com objetivo de modificar a curva de ignição avançando e retardando, a partir de uma curva de máxima potência gerada, com os dados obtidos a comparação entre gráficos e dados foi feita uma análise, levando-se em conta a fundamentação teórica utilizada para formulação deste trabalho.

Um módulo de injeção programável marca fueltech FT 300 foi utilizado para os testes, juntamente com um dinamômetro da marca Servitec modelo 2030 que faz leituras de potências até 600 hp e 7000 rpm.

1.1 ASSUNTO / TEMA

O assunto do referido trabalho é analisar a influência do avanço de ignição em relação ao fator lambda e a potência gerada em um motor ciclo Otto 4 tempos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O tema escolhido para este trabalho foi em função da melhoria no desempenho de motores. Saber como funcionam os diversos tipos de motores e como obtemos mudanças de performance como a potência deles, o rendimento entre outros, resulta no melhor aproveitamento energético do combustível utilizado.

Socialmente, esse trabalho poderá ser útil como base para melhorias no dimensionamento de motores, visando não somente o desempenho de um motor de menor cilindrada; mas também, a economia de combustível gerada pela relação estequiométrica da mistura admitida. Observou-se que os motores mais antigos possuíam cilindradas maiores que os modernos, porém muitas das vezes potências menores e consumo de combustível elevado. Tanto por modificações mecânicas, quanto por modificações nos parâmetros de funcionamento e calibração de motores, está sendo possível extrair maior potência e rendimento nos veículos mais novos.

Obter um melhor rendimento de um motor é uma busca constante por montadoras e afins, para retirar de um motor um bom desempenho aliado à economia de combustível. Esse vem sendo o motivo da atualização e melhoria dos motores de combustão modernos, sendo que a ignição faz parte nessa atualização, esta modificada conforme o desenvolvimento do motor. Mas observa-se que não existe uma receita pronta ou uma regra nos mostrando, como por exemplo: se a variação da ignição acaba influenciando no fator λ gerado pela combustão e se reflete diretamente na potência gerada.

O referido trabalho tem como base a formulação de respostas ao tema abordado e mostrará se existe influências da ignição no resultado de λ gerado pelos gases de combustão e seus reflexos na potência produzida.

Segundo Martins (2006), a evolução dos motores aconteceu resultante da ação conjunta das leis ambientais e das crises petrolíferas que impuseram o uso racional do combustível tornando os motores máquinas térmicas de alta eficiência termodinâmica. No geral, alguns aspectos foram modificados entre eles a taxa de compressão, relação curso e diâmetro de pistões, cilindrada, ignição e a preparação da mistura ar-combustível.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A curva do sistema de ignição de um motor tem influência sobre o valor de λ e sobre a potência gerada?

1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES

H 0 – Não há influência da curva de ignição sobre o fator lambda gerado pela combustão e a potência do motor.

H 1 – O fator lambda gerado pela combustão e a potência obtida sofre influência da curva de ignição do motor.

1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.5.1 Objetivo Geral

Analisar se a curva de ignição tem influência sobre o valor do fator lambda gerado pela combustão do motor e se esse fator pode refletir na potência produzida.

1.5.2 Objetivos Específicos

Coletar dados de funcionamento original do motor;

Utilizar os dados para programação inicial da injeção programável;

Estabilizar o lambda gerado e extrair a máxima potência;

Submeter o motor a testes variando a curva de ignição avançando e retardando a curva;

Comparar os valores gerados de lambda e potência em cada curva de ignição.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS

Denominam-se motores de combustão interna alternativos, quando o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela. (BRUNETTI, 2012)

Segundo Brunetti (2012), a posição do pistão no interior do cilindro se resume em PMS (Ponto Morto Superior), que é a posição na qual o pistão se encontra o mais próximo possível do cabeçote e PMI (Ponto Morto Inferior), que é a posição na qual o pistão se encontra o mais afastado possível do cabeçote.

Conforme Heywood (1988), os motores de combustão interna são datados de 1876, quando Nikolaus Otto foi o primeiro a desenvolver um motor de combustão interna de ignição por centelha, sendo que seu princípio de funcionamento se baseia na geração de potência mecânica através da energia fornecida pela combustão de um combustível. Nos motores de combustão interna de ignição por centelha, a energia química é liberada pela queima da mistura de ar e combustível vaporizado dentro dos cilindros, a queima é iniciada por meio da ignição por uma centelha elétrica.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES ALTERNATIVOS QUANDO À IGNIÇÃO

A combustão é um processo químico exotérmico de oxidação de um combustível. Para que este reaja com o oxigênio do ar, necessita-se de algum agente que provoque o início da reação. Denomina-se ignição o processo que provoca o início da combustão. (BRUNETTI, 2012).

Conforme Brunetti (2012), os motores de combustão interna alternativos se dividem, quanto à ignição, em dois tipos: MIF (Motores de Ignição Por Faísca ou Otto) e MIE (Motores de Ignição Espontânea ou Diesel).

Nos motores de ignição por faísca, a mistura ar-combustível é previamente formada dentro dos cilindros após ser admitida e, então, inflamada pela faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela de ignição.

Já nos motores de ignição espontânea ou diesel não há a necessidade de faísca, a temperatura adquirida pelo ar ao ser comprimido pelo pistão é suficientemente elevada e, quando o pistão está próximo de PMS é injetado, o combustível reage espontaneamente com o oxigênio, pois o ar se encontra em “temperatura de autoignição (TAI)”.

Brunetti (2012) relaciona a diferença na forma de funcionamento desses dois motores com aplicações distintas entre eles.

2.3 ÂNGULO DE IGNIÇÃO

Devido ao retardamento químico da queima do combustível, é necessário que a ignição seja adiantada em relação ao ponto morto superior do motor para que a combustão seja a melhor possível, atingindo a pressão máxima no cilindro no início da expansão. Com o aumento da rotação do motor maior é este ângulo de avanço da ignição para que sempre haja a maior pressão possível no cilindro. (Garcia; Brunetti, 1992)

Atualmente, a ignição é controlada por meio de sensores que fornecem dados para o módulo atuar sobre a curva de ignição a ser gerada, de acordo com a programação feita no módulo o avanço de ignição apropriado é feito para melhor performance e economia. (A. Graham Bell, 1997)

Conforme Graham Bell (1997), a ignição, por exemplo, em alguma faixa de rotação está entre 5° e 18° graus antes do ponto morto superior (BTDC), em outros momentos; em faixas mais altas de rotação o avanço para melhor performance fica entre 25° a 35° (BTDC), enquanto em cruzeiro; uma adição de 10° a 15° na curva de ignição é necessária para a melhor economia.

2.4 MOTORES ALTERNATIVOS A QUATRO TEMPOS (4T)

Segundo Brunetti (2012), em motores alternativos de quatro tempos, o pistão percorre quatro cursos para formar um ciclo. A cada 180° um curso é formado e no final dos quatro ciclos duas voltas na manivela do motor foram efetuadas.

O primeiro tempo é o de admissão, que o pistão se desloca do PMS ao PMI, criando uma depressão que preenche com a mistura ar-combustível o cilindro.

O segundo tempo é o de compressão, o pistão desloca-se do PMI ao PMS; comprimindo a mistura no interior da câmara de combustão.

O terceiro tempo é o de expansão, no MIF quando o pistão está próximo de atingir o PMS a faísca é gerada e provoca a ignição da mistura. A combustão gerada provoca um grande aumento da pressão que forma trabalho positivo (útil), empurrando o pistão para PMI.

Por fim, o quarto tempo é o de escape, com a válvula de escape aberta o pistão sai de PMI para PMS, jogando os gases queimados para fora do cilindro para reiniciar um novo ciclo.

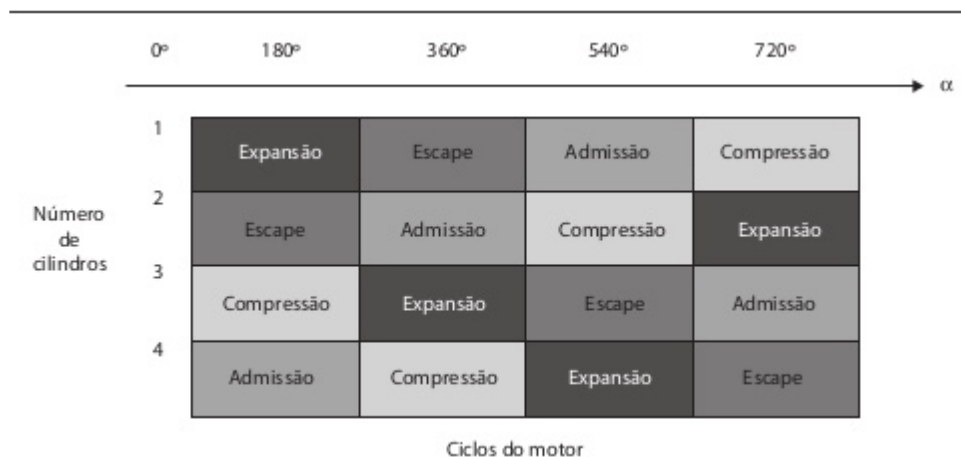


Figura 1: Quatro tempos de um motor 4 cilindros.

Fonte: Livro Motores de combustão interna (2012).

2.5 RELAÇÃO AR-COMBUSTÍVEL, EXCESSO DE AR E RIQUEZA DA MISTURA

Um motor de combustão interna está limitado pela quantidade de ar que pode entrar em cada ciclo, pois tem um volume varrido fixo. (MARTINS, 2006)

Segundo Martins (2006), existe uma relação entre a quantidade de ar admitido e a quantidade de combustível injetada. A relação entre as duas quantidades é denominada relação ar-combustível ou A/F.

Quando a relação entre o ar e o combustível é tal que todo o combustível é (ou pode ser) queimado usando todo o ar disponível, dizemos que a mistura é estequiométrica e especifica-se por (AIF). Um motor ao qual se forneça mais combustível que o requerido pela estequiometria, diz-se que queima uma mistura rica e, ao contrário, chama-se mistura pobre. (MARTINS, 2006)

Conforme Martins (2006), uma mistura estequiométrica apresenta $\lambda=1$, misturas ricas $\lambda<1$ e para misturas pobres $\lambda>1$. As misturas levemente ricas (em até 10% acima do valor estequiométrico) provocam uma maior velocidade de propagação da frente de chama, pois é

nessa região em que se encontram os picos de velocidades laminares de frentes de chama. (BRUNETTI, 2012)

De acordo com Brunetti (2012), a mistura estequiométrica facilita a ocorrência da detonação em motores do ciclo Otto. Já conforme A. Graham Bell (1997), a mistura ar combustível influencia na velocidade de propagação da chama, misturas mais ricas tendem a queimar mais lentamente e requer um avanço de ignição maior, misturas mais próximas à estequiometria tendem a queimar rapidamente e requerem um avanço de ignição menor.

2.6 PRÉ-IGNIÇÃO E DETONAÇÃO

Segundo A. Graham Bell (2006), a mistura admitida com temperaturas mais baixas evita a ocorrência da pré-ignição e detonação. Esta, quando em altas temperaturas, facilita a ocorrência da pré-ignição, que consiste na autoignição da mistura antes da centelha da vela de ignição acontecer.

A detonação também é facilitada pela temperatura da mistura admitida, ela acontece diferentemente da pré-ignição que é antes da ignição ser gerada. Além disso, acontece após a ignição acontecer, a mistura quente facilita a autoignição que, juntamente com pontos quentes dentro do cilindro, acaba gerando a detonação após a ignição por centelha acontecer. A frente de chama iniciada pela ignição por centelha colide violentamente com a frente de chama gerada pela temperatura alta dentro do cilindro, chocando-se uma contra a outra gerando barulhos característicos.

2.7 TIPO DE COMBUSTÍVEL E QUALIDADE

Como nos apresenta A. Graham Bell (2006), a composição do combustível utilizado ou o tipo de combustível tem influência direta na velocidade e na qualidade da combustão gerada. Combustíveis derivados de petróleo possuem uma queima mais rápida, aceitando menor avanço de ignição, já o etanol, combustível oriundo da cana de açúcar; tem uma queima mais lenta e proporciona a utilização de maior avanço de ignição.

De acordo com Hiromori Mori, consultor de Assistência Técnica da NGK, combustíveis adulterados de má qualidade podem causar carbonização no motor e superaquecimento internamente no cilindro.

Conforme o site G1 Auto esporte (2015), a Octanagem é a medida que o combustível tem de resistir à pressão interna do cilindro sem detonar, quanto maior a octanagem, mais resistência a detonação o combustível possui.

2.8 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

O trabalho e a potência que um motor realiza estão definidos pelas curvas características. Estas mostram a variação da potência, do binário e do consumo específico de combustível com a variação da velocidade do motor. (MARTINS,2006)

Segundo Martins (2006), estas curvas são estabelecidas por meio de testes em um dinamômetro com o motor em carga constante, geralmente com a borboleta completamente aberta.

2.9 SISTEMA DE IGNIÇÃO

Nos motores de ignição comandada a combustão da mistura é iniciada pela ação de uma faísca elétrica de alta tensão entre dois eletrodos situados no interior da câmara de combustão. (MARTINS, 2006)

Segundo Martins (2006), a faísca não salta com o pistão em PMS, mas sim com um avanço de ignição para maximizar o trabalho útil da combustão, esse avanço depende de vários fatores entre eles a velocidade do motor e a densidade dos gases de admissão. Ele é maior quando a velocidade do motor aumenta.

Conforme Brunetti (2012), o avanço demasiado da ignição tende a facilitar a ocorrência da detonação nos motores Otto, que é considerada como um trabalho negativo, mas por outro lado; a ignição atrasada em relação ao ponto de melhor aproveitamento acaba provocando um trabalho positivo muito pequeno.

2.10 SENSOR DE OXIGÊNIO

O sensor de oxigênio, de acordo com Brunetti (2012), é o responsável por medir a concentração de oxigênio nos gases de escape a cada instante de funcionamento. A

temperatura mínima de funcionamento do sensor é 300 °C e ele envia as informações coletadas para a central do veículo, que faz as devidas correções para manter a estequiometria o mais próximo do ideal.

2.11 SENSOR DE ROTAÇÃO DO MOTOR

Conforme Brunetti (2012), o sensor de rotação é de extrema importância para o sistema de injeção, ele mede o sinal da rotação do motor e fornece para a central de comando mantendo o sincronismo entre o motor e o sistema de gerenciamento para o correto funcionamento do mesmo. O avanço e retardo de ignição são controlados principalmente pelo sensor de rotação.

2.12 COMBUSTÍVEL GASOLINA

A gasolina é uma mistura que contém centenas de compostos químicos, sua fórmula varia de acordo com o tipo de petróleo e refino com composição variável. A padronização da gasolina se dá devido a suas octanas. No Brasil, as gasolinas comercializadas estão dentro dos padrões internacionais. Sendo que a comum brasileira é equivalente à “regular” americana e europeia. (FERREIRA, 2003)

Atualmente, a gasolina comercializada no Brasil apresenta uma composição próxima a 27% de etanol anidro e 73% de gasolina pura (tipo A), dessa forma, esta é classificada de tipo C ou comum brasileira. Em motores de combustão interna, o número de octanagem indica a resistência à combustão espontânea e depende fortemente do tipo de hidrocarbonetos presentes no combustível, motores projetados para utilizar gasolinas de 95 octanas podem utilizar gasolina com 98 octanas, o inverso pode não ser possível por ocasionar a combustão espontânea e resultar em perda de potência no motor. (Martins, 2006)

2.13 DINAMÔMETRO ELÉTRICO DE MOTORES

Conforme Brunetti (2012), dinamômetros de correntes parasitas ou de correntes Foucault funcionam com um rotor em forma de uma engrenagem, feitas de material de alta permeabilidade magnética, mesmo material utilizado no estator e nos anéis solidários que são

separados por um pequeno espaço do rotor. No centro do estator, uma bobina é alimentada por corrente contínua e, quando energizada, gera um campo magnético no rotor que, ao se mover, gera correntes parasitas nos anéis que se aquecem. O calor gerado é absorvido pelo estator e retirado do estator pela água que é utilizada como líquido de resfriamento.

Este dinamômetro é bastante simples e regulado pela intensidade da corrente que passa pela bobina. (BRUNETTI, 2012)

3 METODOLOGIA

A realização deste experimento se iniciou com a pesquisa bibliográfica e em materiais ligados ao referido assunto e com base nas informações que serão coletadas nos testes realizados com o motor acoplado no dinamômetro, utilizando o sistema de injeção original para retirada de dados de funcionamento.

Após todos os dados necessários serem coletados com a calibração original, uma injeção eletrônica programável será utilizada para verificações das variáveis que possam ser obtidas. Os dados originais serão então utilizados para criar uma programação próxima a de funcionamento do motor. Para a utilização da injeção eletrônica programável no motor um chicote de ligação dos sensores e atuadores utilizados foi confeccionado para a comunicação com o módulo.

Com o chicote conectado ao motor e o módulo devidamente programado, os testes iniciados têm o objetivo de criar uma estabilidade de lambda para, posteriormente, modificar a curva de ignição e verificar a ocorrência de mudança de performance do motor.

Todos os testes são efetuados com o mesmo combustível gasolina comum, no mesmo dia, e com a temperatura do motor próxima a 90 graus, que é a temperatura de funcionamento do motor recomendado pelo fabricante.

3.1 INSTALAÇÃO DO CHICOTE NO MOTOR

O chicote foi confeccionado seguindo o padrão de ligação, conforme o manual da injeção programável Fueltech FT300.

O módulo programável foi conectado ao sensor de rotação do motor, sensor de temperatura do motor, sensor de posição do corpo de borboleta e ao condicionador de sinais do sensor de oxigênio. Os atuadores utilizados foram a bobina de ignição e os bicos injetores. A figura 2 mostra o chicote instalado no motor.

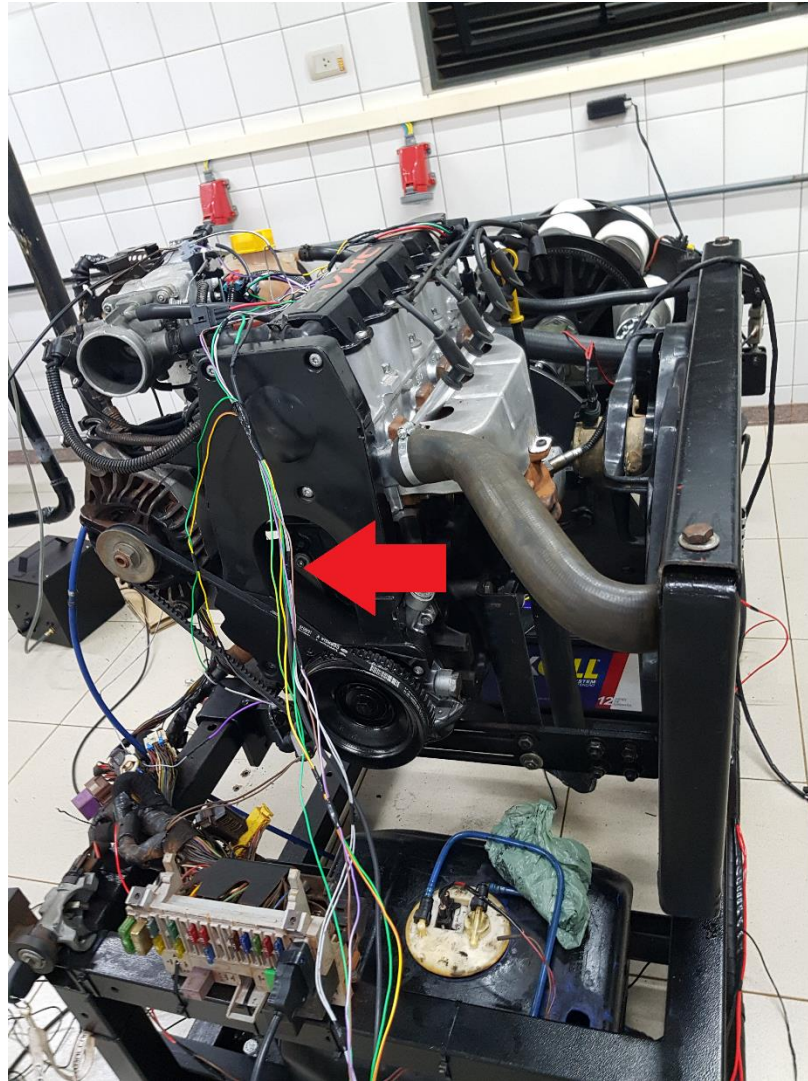


Figura 2: Chicote instalado no motor.
Fonte do autor 2019

3.2 PROGRAMAÇÃO INICIAL

Com o motor funcionando já comandado pelo módulo de injeção programável, testes foram feitos para estabilizar o valor de lambda, gerado pela combustão, até que houvesse certa linearidade no valor em todas as rotações. Abaixo vê-se a imagem do gráfico gerado com a sonda estável.

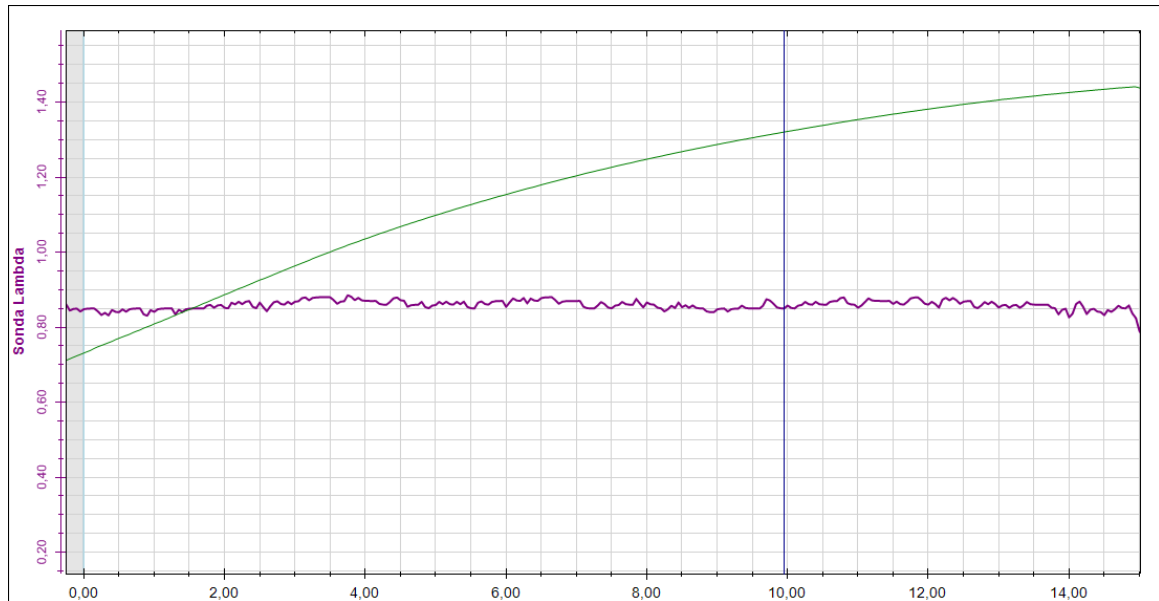


Figura 3: Gráfico RPM x Lambda estável gerado.

Fonte do autor 2019.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADO TESTE 1

O primeiro teste após estabilizar o valor gerado de lambda pela combustão foi focado em adquirir a máxima potência do motor, sendo a curva de ignição de máxima potência como ponto de referência para futuros testes deste trabalho. Abaixo, segue-se a figura 5 do gráfico gerado pelo dinamômetro de motores e a figura 4, que consta a curva de ignição e o resultado de lambda gerado.

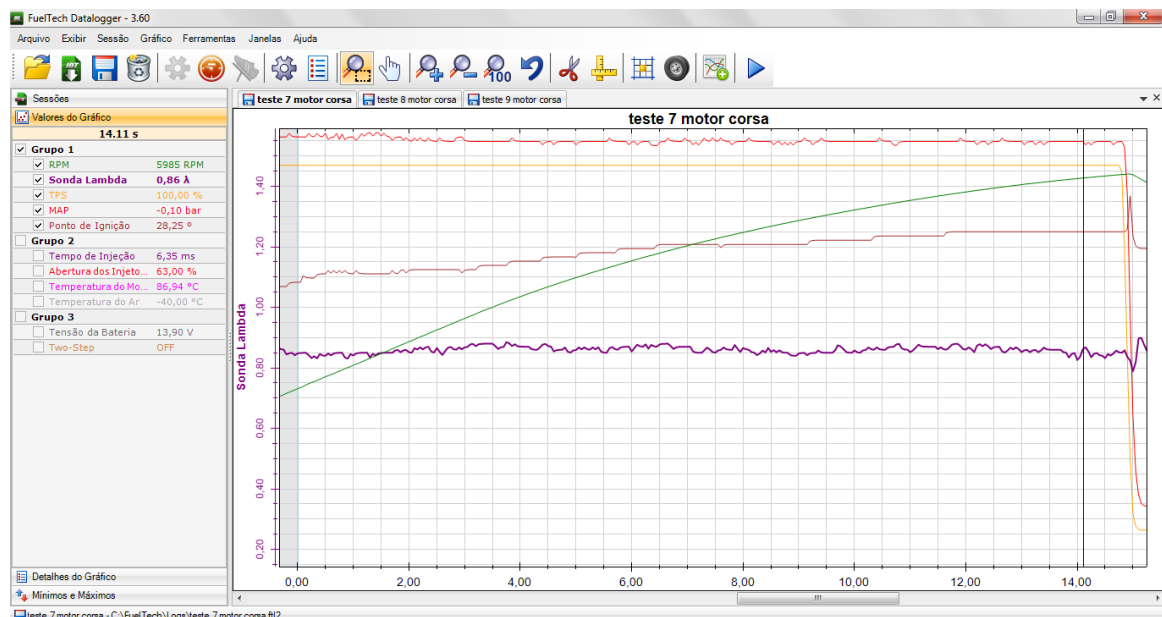


Figura 4: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 gerados pelo módulo programável.

Fonte do autor 2019.

Iniciando com 2400RPM até 6050RPM, graficamente é possível ver a oscilação de sonda a elevação do rpm e a curva de ignição que resultaram na máxima potência obtida.

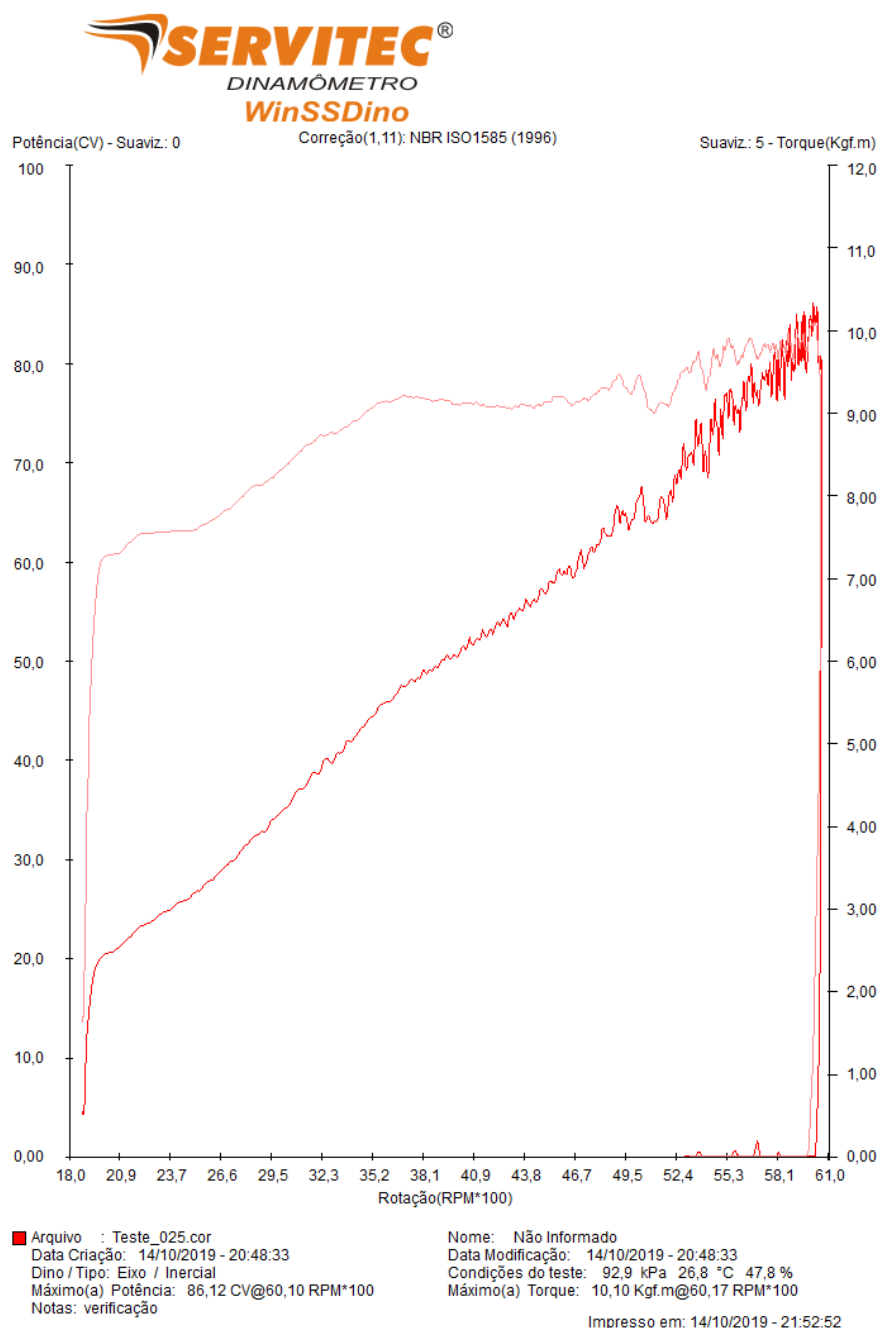


Figura 5: Gráfico de potência e torque no motor em função da rotação no teste de máxima potência obtida.

Fonte do autor 2019.

O gráfico acima mostra a curva de torque e potência, obtida com a calibração que gerou a máxima potência e torque 86,12cv @ 6010 RPM e um torque de 10,10 Kgf.m @ 6017RPM.

4.2 RESULTADO TESTE 2

O teste consistiu em atrasar 6 graus toda a curva de ignição, tomando como referência a curva de maior potência obtida no motor. Os resultados de lambda apresentados pelo teste e a potência obtida estão nas figuras 6 e 7.

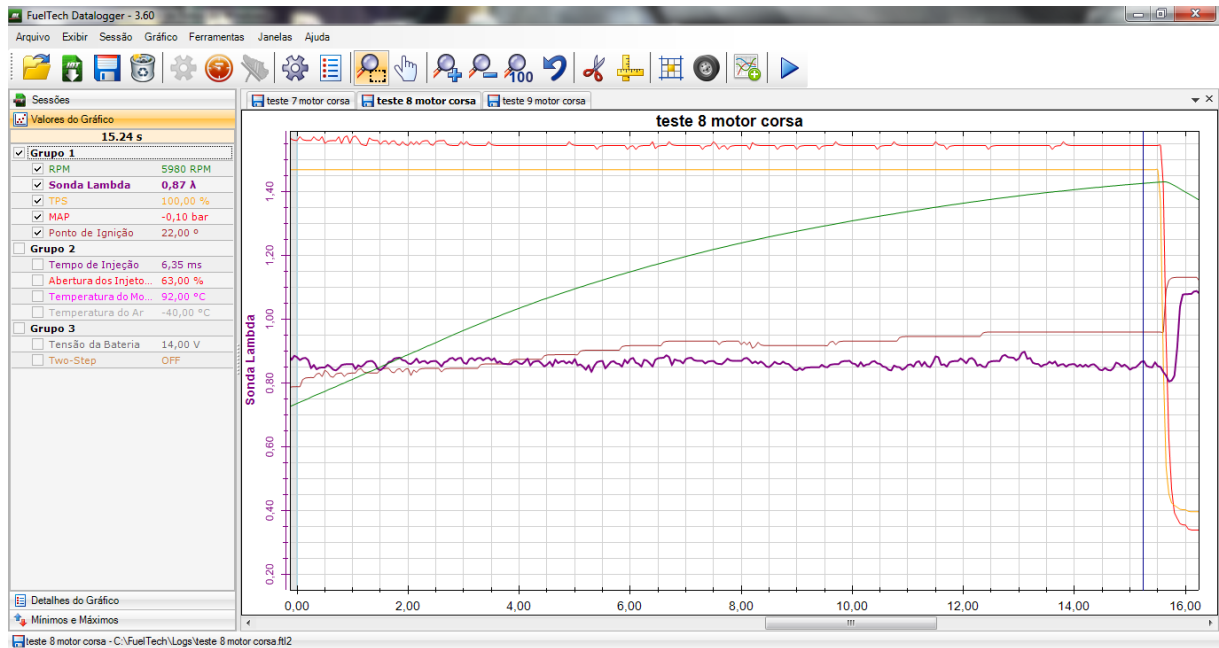


Figura 6: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 2 gerados pelo módulo programável.
Fonte do autor 2019.

Iniciando com 2400RPM até 6050RPM, graficamente é possível ver a oscilação de sonda a elevação do rpm e a curva de ignição que resultaram após diminuir em 6 graus toda a curva de ignição do motor.

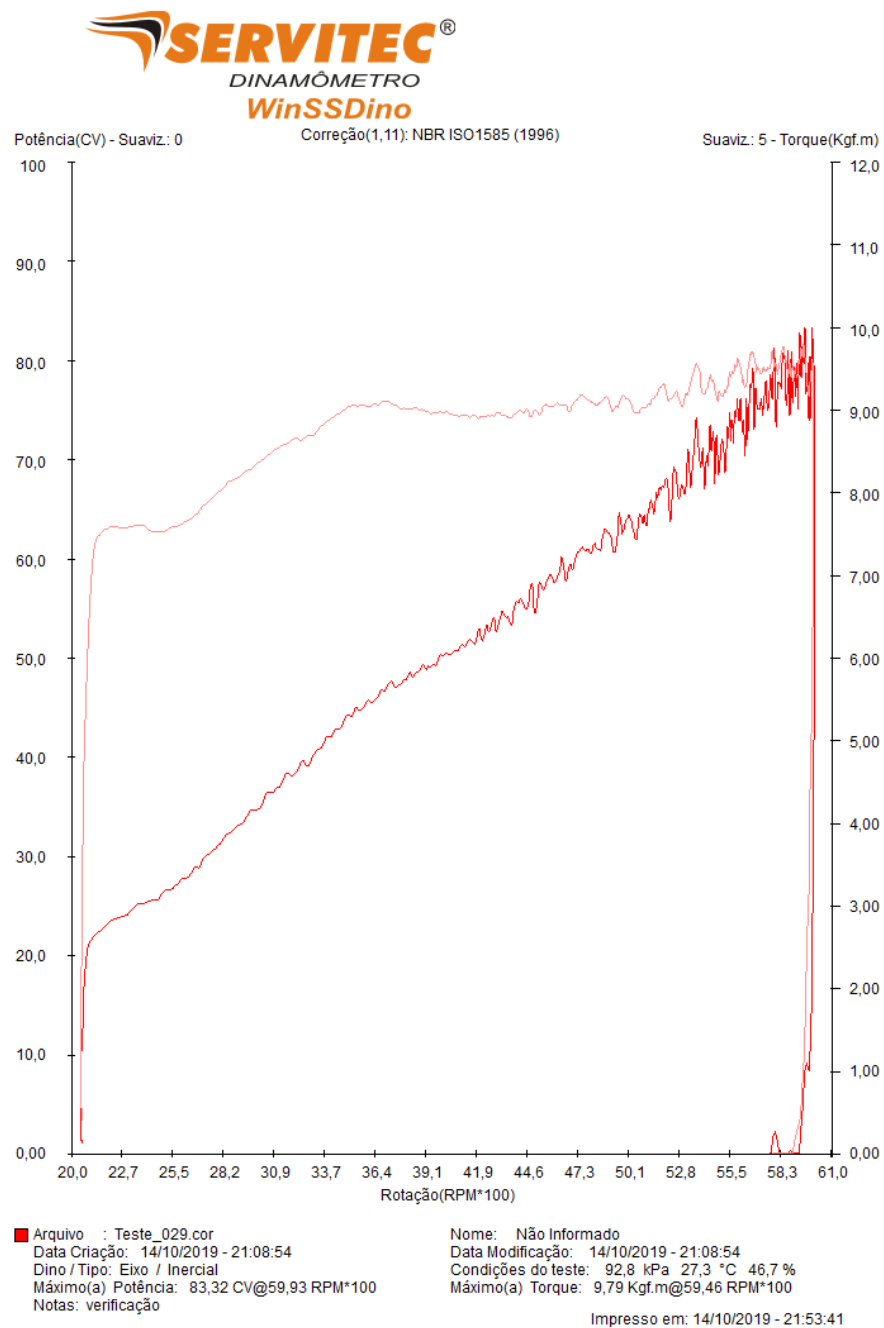


Figura 7: Gráfico de potência x torque em função da rotação do teste 2.
Fonte do autor 2019.

Acima, apresentou-se o gráfico gerado de potência e torque após o retardo de ignição de 6 graus em toda a faixa de rotação, este exibe a diminuição da potência e torque gerado. Os resultados obtidos foram: 83,32cv @ 5993RPM e 9,79Kgf.m @ 5946RPM.

4.3 RESULTADO TESTE 3

O teste consistiu em elevar 6 graus em toda a curva de ignição, primeiramente feita para a maior potência obtida e agora, com seis graus de avanço a mais do que anteriormente, para obter o resultado gerado da combustão em lambda e a potência. Abaixo, apresenta-se o gráfico dos dados gerados de ignição e lambda obtidos, figura 8, e os dados de potência do dinamômetro, na figura 9.

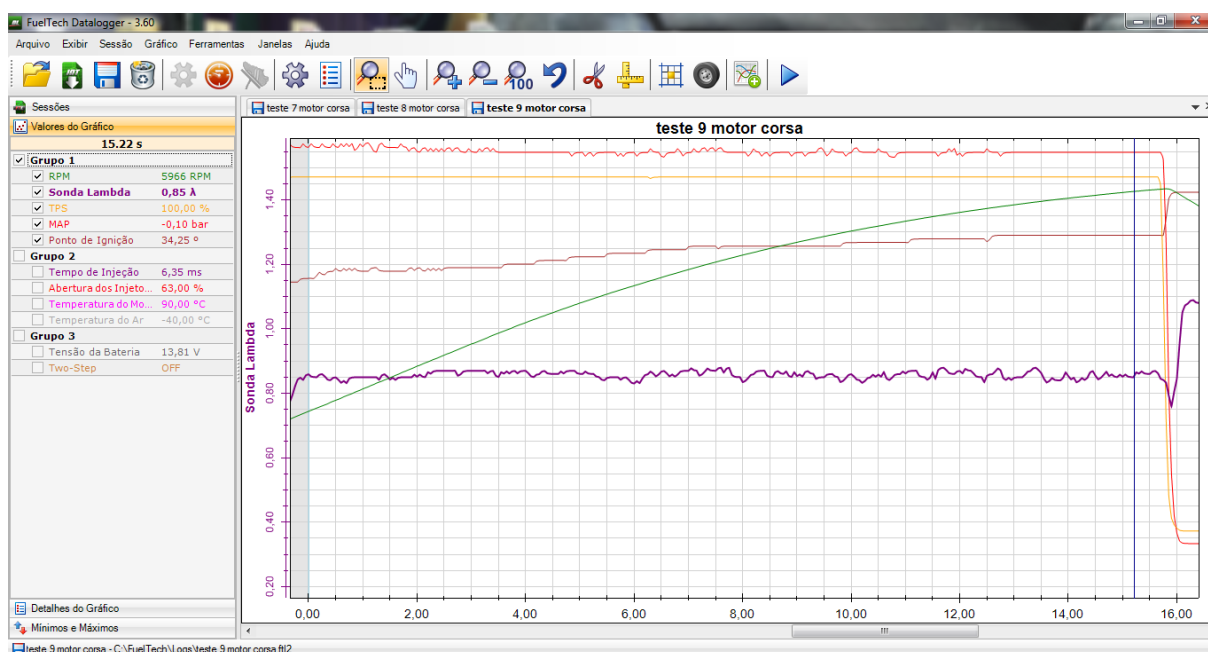


Figura 8: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 3 gerados pelo módulo programável.
Fonte do autor 2019.

Iniciando com 2400RPM até 6050RPM, graficamente é possível ver a oscilação de sonda a elevação do rpm e a curva de ignição que resultaram, após o avanço de 6 graus, em toda a faixa de rotação do motor.

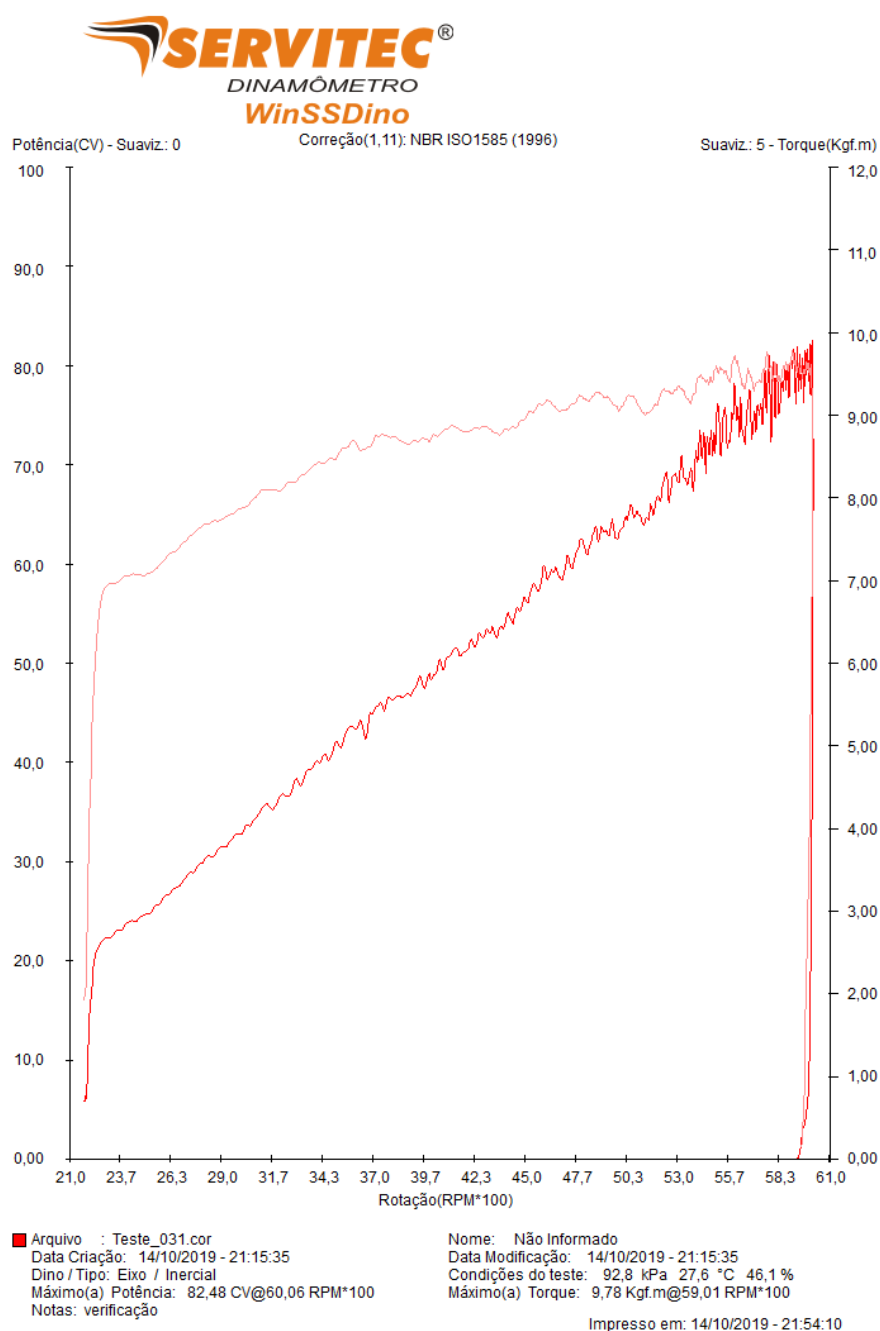


Figura 9: Gráfico de potência x torque em função da rotação do teste 3.
Fonte do autor 2019.

Acima, revelou-se o gráfico gerado de potência e torque, após o avanço de ignição de 6 graus em toda a faixa de rotação, exibindo a diminuição da potência e torque gerado. Os resultados obtidos foram: 82,48cv @ 6006RPM e 9,78Kgf.m @ 5901RPM.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

Com os resultados obtidos após os testes, pode-se analisar graficamente, comparando um teste a outro, para concluir se houve influência sobre o valor de lambda gerado da combustão e o reflexo na potência obtida. Abaixo na figura 10, segue o gráfico do teste 1 combinado com o gráfico do teste 2.

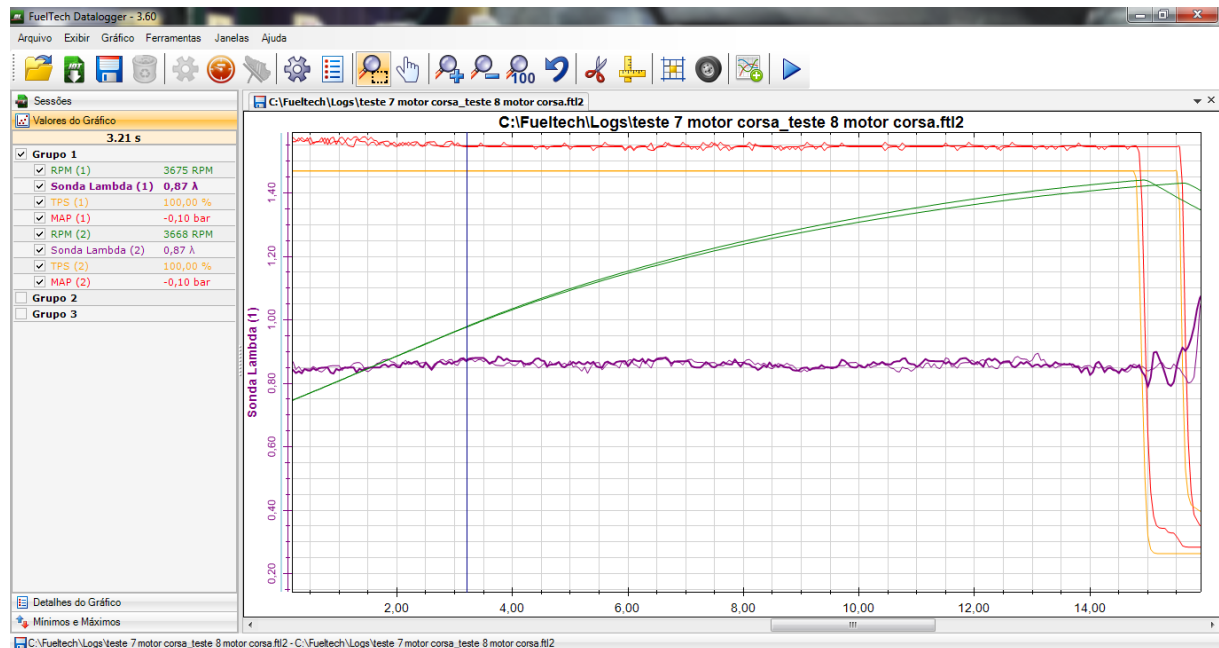


Figura 10: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 combinado com o teste 2 gerados pelo módulo programável.

Fonte do autor 2019.

Comparando os gráficos do teste 1 com o teste 2, pode-se observar pouca variação de lambda nas faixas de rotação mais baixas e uma leve alteração em rotações mais elevadas. Porém o que possui maior discrepância nos dados gerados é o tempo que a rotação demora para atingir o rpm final, comparando o teste de máxima potência com o teste que foi feito o atraso de ignição em 6 graus.

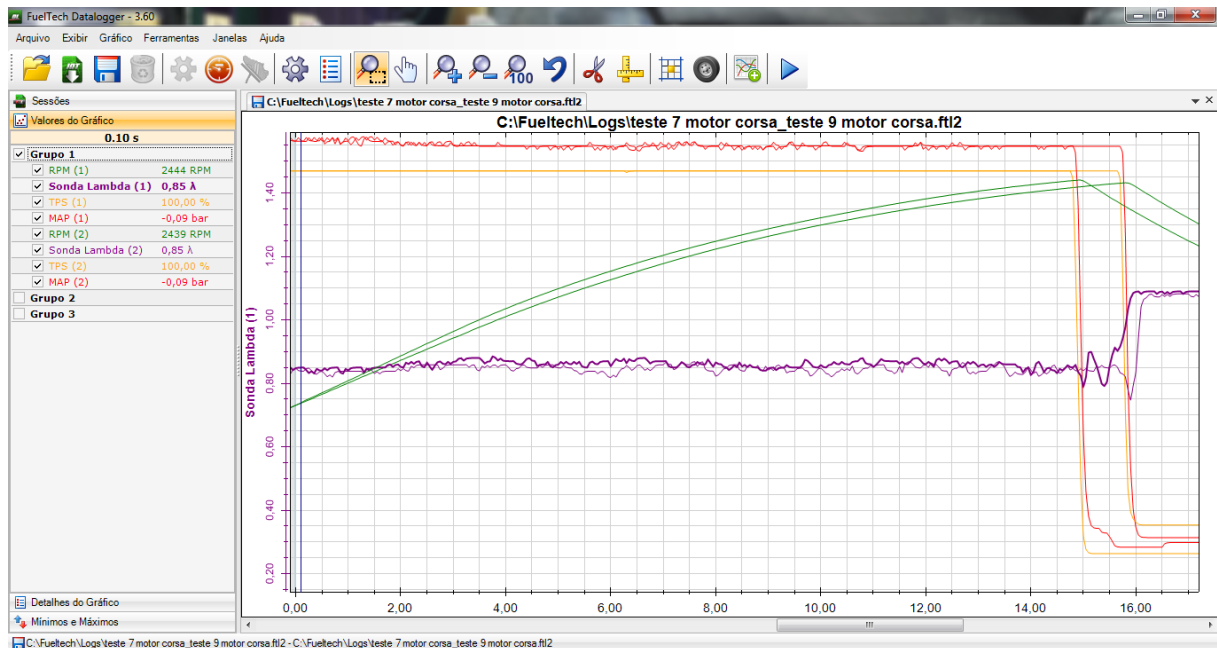


Figura 11: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 1 combinado com o teste 3 gerados pelo módulo programável.
Fonte do autor 2019.

Comparando os gráficos do teste 1 e 3 presentes na figura 11, pode-se observar maior variação de lambda entre eles em toda sua faixa de rotação. Conforme anteriormente, a discrepância entre as rotações também é notável, diferentemente do gráfico anterior na figura 10, que a diferença é gerada em rotações mais altas, este gráfico gera esta diferença desde rotações iniciais do teste.

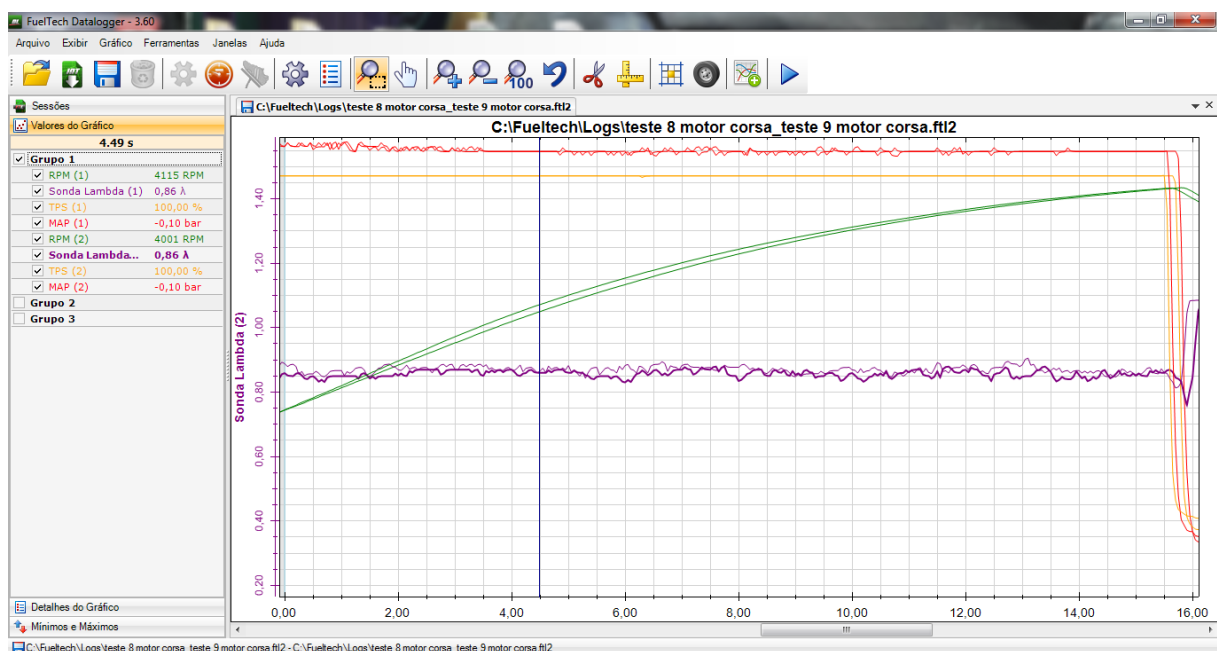


Figura 12: Gráfico dos dados de funcionamento do teste 2 combinado com o teste 3 gerados pelo módulo programável.
Fonte do autor 2019.

Comparando os gráficos do teste 2 com o do teste 3, presentes na figura 12, pode-se observar a variação de lambda gerada e, novamente, a diferença entre rotações está presente, só que diferentemente dos gráficos anteriores, em rotações mais baixas apenas e no final do teste; elas estão praticamente iguais.

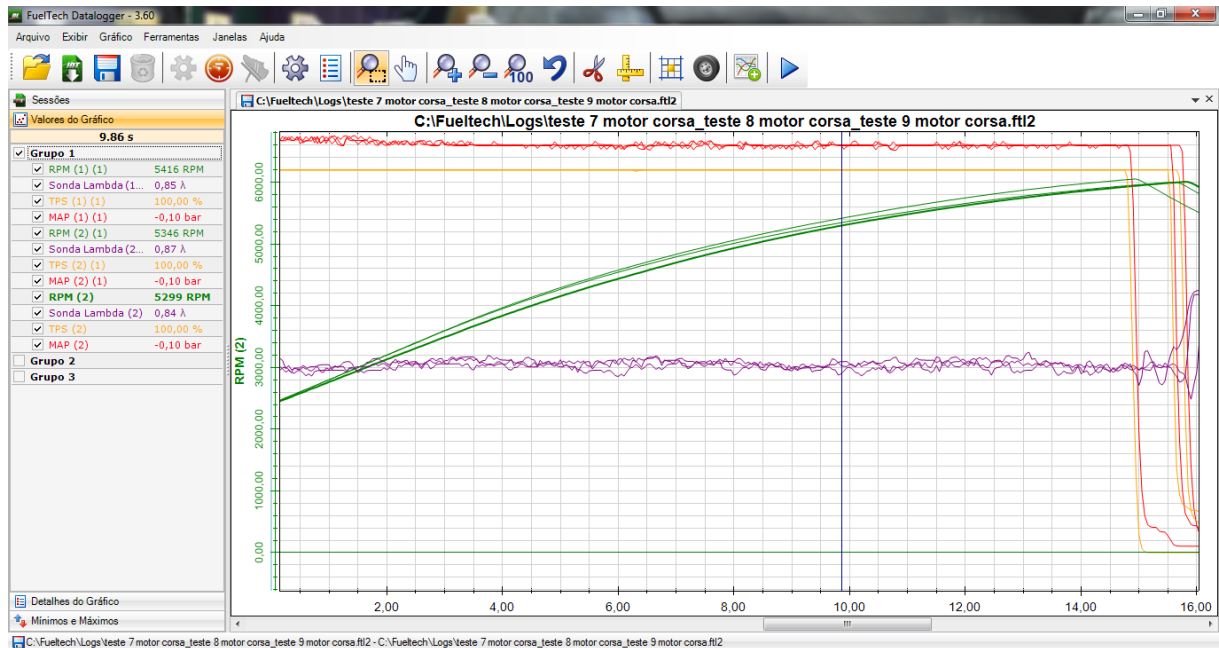


Figura 13: Gráfico dos dados de funcionamento combinando todos os testes juntos, gerados pelo módulo programável.

Fonte do autor 2019.

Com o gráfico dos três testes juntamente combinados (figura 13), é possível verificar o que foi apresentado anteriormente, a diferença nos valores de lambda gerados e a discrepância entre os valores de rpm confirmam a influência da ignição no funcionamento do motor.

5 CONCLUSÃO

A partir dos gráficos gerados pelo software do dinamômetro e os gráficos gerados pelo software da injeção programável, combinados com o referencial teórico da bibliografia utilizada para este trabalho, conclui-se; então, que a curva de ignição de um motor tem influência sobre os valores de λ gerados e a potência obtida.

A utilização da curva de ignição ideal para o funcionamento do motor gera maior potência e torque, além de possibilitar a economia de combustível, pois gera a maior pressão interna dentro do cilindro no momento mais oportuno para gerar trabalho, otimizando a combustão.

Ao empregar uma curva de ignição com o avanço inferior ao de melhor aproveitamento da combustão, inicialmente em baixas rotações; as desvantagens são mínimas ou quase nulas, em contrapartida em rotações mais elevadas são visíveis as diferenças que o não aproveitamento da combustão gera para o motor. A perda de potência e torque nas rotações mais elevadas condizem com a diferença entre a curva de rotação obtida com a ignição ideal e a curva com a ignição de menor avanço, mostrando que quanto maior a rotação, mais avanço de ignição tem que ser utilizado para compensar o retardo químico do combustível e a velocidade do motor. A diferença entre valores de λ gerados com o atraso de ignição não foi muito expressiva, mesmo em altas rotações, provavelmente por este tipo de motor utilizar a taxa de compressão um pouco elevada, o que facilita a combustão; pois aumenta a temperatura do ar dentro do cilindro e acaba por necessitar de menor avanço de ignição para gerar a combustão, porém a combustão gerada realiza um trabalho menor do que o esperado.

Ao aplicar a curva de ignição com o avanço acima do desejado pelo motor para o melhor aproveitamento da combustão, as desvantagens são maiores e isso fica claramente visível por meio do resultado obtido de potência e torque no motor. A curva de rotação com avanço de ignição demasiado, comparada com a curva de rotação de avanço ideal tem maior nitidez da influência da ignição, mostrando a dificuldade para atingir a mesma rotação em função do tempo.

Desde as rotações mais baixas, a combustão utiliza parte dela para um trabalho dito como negativo; segurando o motor e impedindo que a rotação dispare e aumente, conforme o desejado. A diferença entre os valores de λ é mais notável nessa situação, os valores gerados tendem a ser mais ricos em toda faixa de rotação, resultado do excesso de avanço de ignição que não permite que a maior pressão interna do cilindro seja em PMS, e sim antes, o que gera o trabalho negativo, fazendo com que o motor perca potência e torque.

Por fim pode-se concluir que o emprego da curva de ignição correta em cada motor tem influência nos resultados obtidos de potência, torque e lambda gerados. Fatores esses que implicam no rendimento de um motor.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Análise do funcionamento de um motor modificando o enquadramento do comando de válvulas.

Estudo entre taxa de compressão elevada e avanço de ignição e qual mudança gera maior rendimento para o motor.

A utilização do etanol como combustível renovável, sendo a opção para continuação do desenvolvimento dos motores a combustão interna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTO ESPORTE. **Entenda o que significa alta octanagem e o efeito nos carros.** Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/especial-publicitario/shell/mitos-e-verdades-do-combustivel/noticia/2015/01/entenda-o-que-significa-alta-octanagem-e-o-efeito-nos-carros.html>. Acesso em: 06 out. 2019.

BELL, A. Graham. **Modern engine tuning.** Haynes Publishing, 1997.

BELL, A. Graham. **Four-stroke performance tuning,** Haynes Publishing, 3ª edition, 2006.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna.** Volume 1, 2012.

FERREIRA, Silvia Maria. **Relação entre a espessura real e aparente da gasolina com etanol e da gasolina pura em colunas de laboratório.** São Paulo: Instituto de geociências universidade de São Paulo, 2003.

GARCIA, O. BUNETTI, F. **Motores de Combustão interna.** 2ª Edição, 1992.

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna.** 2ª edição, 2006.

NGK. **NGK explica como o combustível de má qualidade afeta o veículo.** Disponível em: <http://www.ngkntk.com.br/automotivo/ngk-explica-como-o-combustivel-de-ma-qualidade-afeta-o-veiculo/>. Acesso em: 08 out. 2019.

SERVITEC. **Dados do dinamômetro de bancada servitec modelo 2030.** Disponível em: <http://www.servitecdinamometro.com.br/categoria/de-bancada/2030-para-motores>. Acesso em: 22 nov. 2018.

WEBMOTORS. **Chevrolet Corsa Classic ganha motor VHC 1.0 de 70 cv.** Disponível em: <https://www.webmotors.com.br/wm1/dinheiro-e-economia/chevrolet-corsa-classic-ganha-motor-vhc-1-0-de-70-cv>. Acesso em: 06 out. 2019.