



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DO AUMENTO DA RAZÃO VOLUMÉTRICA**  
**DE COMPRESSÃO DE UM MOTOR FLEXÍVEL**  
**MULTICOMBUSTÍVEL VISANDO MELHORIA DE**  
**DESEMPENHO**

**ROGÉRIO JORGE AMORIM**

**Belo Horizonte, 16 de setembro de 2005**

Rogério Jorge Amorim

**ANÁLISE DO AUMENTO DA RAZÃO VOLUMÉTRICA  
DE COMPRESSÃO DE UM MOTOR FLEXÍVEL  
MULTICOMBUSTÍVEL VISANDO MELHORIA DE  
DESEMPENHO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais,  
como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Mecânica.**

**Área de Concentração: Calor e Fluidos**

**Orientador: Prof. Dr. Ramón Molina Valle**

**Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG**

**Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2005**

## RESUMO

Os motores de combustão por centelha multicomcombustíveis funcionando com gasolina e álcool etílico hidratado são altamente difundidos no mercado brasileiro. O gás metano veicular também é um combustível que está aumentando a sua participação no mercado através da instalação de kits em motores a gasolina ou álcool etílico. Entretanto, estes motores adaptados não apresentam um bom aproveitamento do combustível por causa da baixa razão de compressão para este combustível. Neste trabalho, é analisado o desempenho de um motor multicomcombustível para várias razões de compressão funcionando com gasolina, álcool etílico e gás metano veicular, cujos resultados servirão de base para o desenvolvimento de um motor flexível otimizado. Com este objetivo, uma central eletrônica programável de desenvolvimento e um sistema multiponto de 5ª geração de gás metano veicular são instalados no motor. A central programável é calibrada com o motor funcionando com gasolina, álcool etílico e gás metano veicular para as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1. A modificação das razões de compressão foi realizada substituindo-se os jogos de pistões. Os resultados são obtidos primeiramente para a gasolina e o álcool etílico com a central eletrônica original e razão de compressão de 11:1, para servirem de referência. Posteriormente, para a razão de compressão de 11:1 e 12,5:1, os resultados para a gasolina, o álcool etílico e o gás metano veicular com a central programável são comparados com o sistema original. Finalmente, para a razão de compressão de 15:1, os resultados para o álcool etílico e gás metano veicular são analisados. Mapas de tempo de injeção de combustível, mapas de avanço de ignição e curvas de desempenho são comparados para as diferentes razões de compressão e diferentes combustíveis. Os resultados mostram as diferenças nos mapas de calibração e no desempenho do motor para cada um dos parâmetros. A elevação da razão de compressão para 12,5:1 e para 15:1 somente apresentou melhorias no motor com o GMV. Funcionando com gasolina e álcool etílico, o motor apresentou perdas no desempenho. Os mapas de ângulo de avanço de ignição mostram que para o álcool etílico e o GMV os avanços de ignição foram reduzidos, mas se mantiveram em patamares superiores aos da gasolina com a razão de compressão de 11:1.

## ABSTRACT

Multifuel spark ignition engines fuelled by gasoline and anhydrous ethanol are highly widespread in Brazilian market. Compressed natural gas is also increasing its market-share due to the installation of adaptive kits in gasoline-fuelled or anhydrous ethanol-fuelled engines. However, those adapted engines do not present the best performance for compressed natural gas because of the low compression ratio of the engines for this fuel. In this work, the performance of a multifuel engine running different compression ratios with gasoline, anhydrous ethanol and compressed natural gas is analyzed, and the development of an optimized flexible engine will be on the basis of the results. With this objective, a development programmable electronic control unit and a 5<sup>th</sup> generation multipoint compressed natural gas system are installed on the engine. The programmable unit is calibrated for the engine fuelled by gasoline, anhydrous ethanol and compressed natural gas running 11:1, 12,5:1 and 15:1 compression ratios. The modification of the compression ratios was made replacing the set of pistons. Firstly, the results are obtained for gasoline, anhydrous ethanol with the original electronic control unit and 11:1 compression ratio, in order to be a reference on the calibration. Lately, for the compression ratio of 11:1 and 12,5:1, the results for gasoline, anhydrous ethanol and compressed natural gas with the electronic control unit are compared with the original system results. Finally, for the compression ratio of 15:1, the results for anhydrous ethanol and compressed natural gas are analyzed. Fuel injection time maps, ignition advance maps a performance curves are compared for different compression ratios and different fuels. The results present the differences on the engine calibration maps for each fuel. Increasing the compression ratio to 12,5:1 and 15:1 only presented improvements for the engine running with compressed natural gas. Fuelled by gasoline and anhydrous ethanol, the engine performance was reduced. The ethanol and compressed natural gas ignition advance maps show that the ignition advances were reduced, but they are higher than the ignition advance for gasoline with 11:1 compression ratio.

Dedico este trabalho a meus pais, minha noiva Sílvia, meus irmãos Ricardo e Ronaldo,  
minha afilhada Raquel e meu sobrinho Eduardo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo. Por toda a coragem, luz, determinação e força para me ajudar a mudar os caminhos inicialmente traçados em minha vida e me fazer acreditar que eu tinha que confiar em mim mesmo para seguir em frente. Agradeço a Ele tudo que eu construí e todas as pessoas que ele fez com que atravessassem o meu caminho.

Agradeço à minha família, por estar ao meu lado me apoiando nas minhas escolhas. Principalmente ao meu pai e a minha mãe, que em mim confiaram a cada dia e sempre farão parte de cada vitória. Aos meus irmãos e minhas cunhadas pela compreensão e por me ajudarem. À minha nova família, pelo apoio.

Agradeço à minha noiva Sílvia por ser a Sílvia. Por todo amor durante o mestrado. Por todo carinho, compreensão, apoio, incentivo, dedicação e por sempre estar disposta a estar ao meu lado.

Ao engenheiro José Guilherme, que mais que um orientador, é um grande amigo que em mim confiou desde o início. Pela oportunidade e pelo esforço para conseguir tudo que foi necessário. Por toda a paciência para passar os seus ensinamentos sobre motores e calibração de motores, além do acompanhamento no desenvolvimento de tudo. Hoje, tudo que aprendi devo a você, e tudo que conseguirei daqui para frente sempre terá, no fundo, um muito obrigado. Que Deus abençoe a você e a sua família.

Ao Prof. Dr. Ramón Molina Valle, meu orientador, pela confiança em mim para este trabalho. Agradeço pelo acompanhamento e apoio. Agradeço também pela ajuda na continuidade dos meus estudos em motores e esforço para tornar realidade. Muito obrigado Ramón, por toda a ajuda que me deu, e toda confiança que em mim depositou.

Ao Dr. José Eduardo Mautone Barros pela assistência e ajuda durante este trabalho. Pelo acompanhamento durante os experimentos, dando suporte para o funcionamento do sistema de aquisição, que foram essenciais.

Aos amigos da UFMG pela ajuda durante a elaboração da dissertação. Ao José Pedro, com seus livros, artigos e ensinamentos. Ao Alberto Dutary, pelos incentivos, pelo bom humor e pelo scanner. Ao Giuliano, sempre a espera para o poder ajudar. E a todos os outros que durante esses dois anos de mestrado sempre colaboraram.

Aos colegas do CETEC, que sempre deram suporte para que tudo funcionasse durante a fase experimental desse projeto.

À UFMG, FIAT AUTOMÓVEIS, ISVORFIAT, MAHLE, IGAS, GASMIG e CETEC que colaboram com fornecimento de equipamentos, da estrutura, de material e local para o desenvolvimento desse trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Aos funcionários da UFMG que direta e indiretamente contribuíram para a elaboração do trabalho.

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Aspectos Gerais.....	1
1.2 Revisão Bibliográfica.....	5
1.2.1 Motores de combustão interna.....	5
1.2.1.1 Ciclo OTTO ideal.....	6
1.2.1.2 Ciclo real para motores SI.....	8
1.2.1.3 Razão de compressão e número de octanos.....	10
1.2.1.4 Combustão e Detonação nos motores.....	12
1.2.1.5 Eficiência Volumétrica.....	14
1.2.1.6 Fator de correção para potência de um motor.....	14
1.2.2 Combustíveis.....	15
1.2.2.1 Gasolina.....	15
1.2.2.2 Álcool Etílico.....	17
1.2.2.3 Gás Metano Veicular (GMV) ou Gás Natural Veicular (GNV).....	19
1.2.3 Controle eletrônico do motor.....	22
1.2.3.1 Calibração do sistema de gerenciamento.....	23
1.2.4 Os motores flexíveis no Brasil.....	24
1.2.5 Ensaio dinâmico.....	25
1.2.5.1 Incertezas de medição aplicada a ensaios dinâmicos.....	26
1.2.5.2 Incerteza combinada.....	26
1.2.5.3 Incerteza de medições indiretas independentes.....	27
1.2.6 Considerações finais.....	27
<b>2 - OBJETIVOS E RELEVÂNCIA</b> .....	28
<b>3 - METODOLOGIA</b> .....	30
3.1 Definição dos combustíveis utilizados.....	30
3.2 Seleção do motor.....	30
3.3 Escolha da Unidade Central de Controle – UCE.....	31
3.4 Escolha do sistema de injeção de GMV.....	32
3.5 Preparação do experimento.....	32
3.5.1 Preparação do motor em bancada e testes preliminares.....	32



3.5.2	Alinhamento do motor no dinamômetro.....	33
3.5.3	Preparação do motor no dinamômetro para os primeiros testes.....	33
3.5.4	Preparação da instrumentação.....	34
3.5.5	Preparação do sistema de aquisição de dados.....	36
3.5.6	Calibração do sistema de aquisição.....	37
3.6	Realização dos testes.....	39
3.6.1	1ª FASE: Testes com UCE original.....	40
3.6.2	2ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 11:1$ .....	40
3.6.2.1	Configuração da UCE MoTeC M4.....	41
3.6.2.2	Metodologia de calibração.....	45
3.6.2.3	Calibração do motor.....	49
3.6.3	3ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 12,5:1$ .....	50
3.6.3.1	Troca do jogo de pistões.....	50
3.6.3.2	Calibração do motor.....	51
3.6.4	4ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 15:1$ .....	51
3.6.4.1	Troca do jogo de pistões.....	52
3.6.4.2	Calibração do motor funcionando com Álcool.....	52
3.6.4.3	Revisões do motor.....	53
<b>4</b>	<b>- RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>55</b>
4.1	Mapas de tempo de injeção de combustível.....	55
4.2	Mapas de ângulo de avanço de ignição.....	62
4.3	Curvas de desempenho.....	69
4.3.1	Resultados do motor funcionando com gasolina com razões de compressão de 11:1 e 12,5:1.....	69
4.3.1.1	Resultados para plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta.....	69
4.3.1.2	Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	72
4.3.1.3	Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	75
4.3.1.4	Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta.....	78
4.3.1.5	Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta.....	80

4.3.2	Resultados do motor funcionando com álcool etílico hidratado com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.....	83
4.3.2.1	Resultados para plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta.....	83
4.3.2.2	Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	86
4.3.2.3	Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	89
4.3.2.4	Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta.....	92
4.3.2.5	Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta.....	94
4.3.3	Resultados do motor funcionando com GMV com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.....	97
4.3.3.1	Resultados para Plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta.....	97
4.3.3.2	Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	100
4.3.3.3	Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	103
4.3.3.4	Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta.....	105
4.3.3.5	Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta.....	108
4.4	Eficiência Volumétrica do motor.....	111
4.5	Análise Global dos resultados.....	112
<b>5</b>	<b>- CONCLUSÕES.....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO A TABELAS COM OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b>	
A.1	Resultados do motor funcionando com gasolina com razões de compressão de 11:1 e 12,5:1.....	A.1
A.2	Resultados do motor funcionando com álcool com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.....	A.15
A.3	Resultados do motor funcionando com GMV com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.....	A.34
A.4	Tabelas de calibração do tempo de injeção de combustível.....	A.49
A.5	Tabelas de calibração do ângulo de avanço de ignição.....	A.53

## **ANEXO B FATORES DE CORREÇÃO E CONDIÇÕES DE ENSAIO**

- B.1 Tabelas de correção e condições de ensaio com a gasolina.....B.1
- B.2 Tabelas de correção e condições de ensaio com o álcool.....B.2
- B.3 Tabelas de correção e condições de ensaio com o GMV.....B.3

## **ANEXO C LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS**

- C.1 Tabelas de correção e condições de ensaio com a gasolina.....C.1

## **ANEXO D INCERTEZAS ASSOCIADAS MÁXIMAS DOS RESULTADOS**

- D.1 Incertezas associadas máximas dos resultados.....D.1

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1 a)</b> Diagrama PV.....	6
<b>FIGURA 1.1 b)</b> Diagrama TS para o ciclo OTTO.....	6
<b>FIGURA 1.2</b> Os quatro tempos do ciclo real.....	8
<b>FIGURA 1.3</b> Diagrama PV para o ciclo OTTO real.....	10
<b>FIGURA 1.4</b> Cilindros com o pistão no PMS à esquerda e no PMI à direita.....	10
<b>FIGURA 1.5</b> Influência da razão de compressão na PME e na eficiência efetiva do motor.....	11
<b>FIGURA 1.6</b> Efeito do avanço de ignição no torque com a rotação constante e plena carga.....	12
<b>FIGURA 3.1</b> Motor na bancada para testes com a UCE IAW1G7 e o software CAT...33	
<b>FIGURA 3.2</b> Esquema dos sensores necessários para a MoTeC M4.....	35
<b>FIGURA 3.3</b> As quatro fases de teste.....	40
<b>FIGURA 3.4</b> Gráfico de eficiência volumétrica máxima versus abertura da válvula borboleta.....	42
<b>FIGURA 3.5</b> Etapas da calibração da UCE.....	45
<b>FIGURA 3.6</b> Sinal do “Dwell time” obtido em um osciloscópio.....	47
<b>FIGURA 3.7 (a)</b> Pistão para a taxa de compressão de 12,5:1 fora do motor.....	50
<b>FIGURA 3.7 (b)</b> Pistão para a taxa de compressão de 12,5:1 instalado.....	50
<b>FIGURA 3.8 (a)</b> Pistão para a taxa de compressão de 15:1 fora do motor.....	52
<b>FIGURA 3.8 (b)</b> Pistão para a taxa de compressão de 15:1 instalado.....	52

<b>FIGURA 4.1</b> Mapa de tempo de injeção da gasolina com razão de compressão de 11:1.....	56
<b>FIGURA 4.2</b> Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 11:1.....	57
<b>FIGURA 4.3</b> Mapa de tempo de injeção do GMV com razão de compressão de 11:1.....	57
<b>FIGURA 4.4</b> Mapa de tempo de injeção da gasolina com razão de compressão de 12,5:1.....	59
<b>FIGURA 4.5</b> Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 12,5:1.....	59
<b>FIGURA 4.6</b> Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 12,5:1.....	60
<b>FIGURA 4.7</b> Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 15:1.....	61
<b>FIGURA 4.8</b> Mapa de tempo de injeção do GMV com razão de compressão de 15:1.....	61
<b>FIGURA 4.9</b> Mapa de avanço de ignição da gasolina com razão de compressão de 11:1.....	63
<b>FIGURA 4.10</b> Mapa de avanço de ignição do álcool etílico com razão de compressão de 11:1.....	63
<b>FIGURA 4.11</b> Mapa de avanço de ignição do GMV com razão de compressão de 11:1.....	64
<b>FIGURA 4.12</b> Mapa de avanço de ignição da gasolina com razão de compressão de 12,5:1.....	65

<b>FIGURA 4.13</b> Mapa de avanço de ignição do álcool etílico com razão de compressão de 12,5:1.....	66
<b>FIGURA 4.14</b> Mapa de avanço de ignição para o GMV com razão de compressão de 12,5:1.....	66
<b>FIGURA 4.15</b> Mapa de avanço de ignição para o álcool etílico com razão de compressão de 15:1.....	67
<b>FIGURA 4.16</b> Mapa de avanço de ignição para o GMV com razão de compressão de 15:1.....	68
<b>FIGURA 4.17</b> Curvas de torque corrigido para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.....	70
<b>FIGURA 4.18</b> Curvas de potência corrigida para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.....	71
<b>FIGURA 4.19</b> Curvas de consumo específico de combustível (SFC) para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.....	71
<b>FIGURA 4.20</b> Curvas do fator lambda para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.....	72
<b>FIGURA 4.21</b> Curvas de torque corrigido para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	73
<b>FIGURA 4.22</b> Curvas de potência corrigida para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	74
<b>FIGURA 4.23</b> Curvas de consumo específico de combustível (SFC) para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	74
<b>FIGURA 4.24</b> Curvas do fator lambda para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	75

<b>FIGURA 4.25</b> Curvas de torque corrigido para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	76
<b>FIGURA 4.26</b> Curvas de potência corrigida para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	76
<b>FIGURA 4.27</b> Curvas de consumo específico de combustível (SFC) para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	77
<b>FIGURA 4.28</b> Curvas do fator lambda para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	77
<b>FIGURA 4.29</b> Curvas de torque corrigido para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.....	78
<b>FIGURA 4.30</b> Curvas de potência corrigida para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.....	79
<b>FIGURA 4.31</b> Curvas de consumo específico de combustível para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.....	79
<b>FIGURA 4.32</b> Curvas do fator lambda para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.....	80
<b>FIGURA 4.33</b> Curvas de torque corrigido para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.....	81
<b>FIGURA 4.34</b> Curvas de potência corrigida para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.....	81
<b>FIGURA 4.35</b> Curvas de consumo específico de combustível para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.....	82
<b>FIGURA 4.36</b> Curvas do fator lambda para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.....	82

<b>FIGURA 4.37</b> Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.....	84
<b>FIGURA 4.38</b> Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.....	85
<b>FIGURA 4.39</b> Curvas de consumo específico de combustível para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.....	85
<b>FIGURA 4.40</b> Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.....	86
<b>FIGURA 4.41</b> Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	87
<b>FIGURA 4.42</b> Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	87
<b>FIGURA 4.43</b> Curvas de consumo específico de combustível para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	88
<b>FIGURA 4.44</b> Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	89
<b>FIGURA 4.45</b> Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	90
<b>FIGURA 4.46</b> Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	90
<b>FIGURA 4.47</b> Curvas de consumo específico de combustível para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	91
<b>FIGURA 4.48</b> Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	91



<b>FIGURA 4.49</b> Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.....	92
<b>FIGURA 4.50</b> Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.....	93
<b>FIGURA 4.51</b> Curvas de consumo específico de combustível para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.....	93
<b>FIGURA 4.52</b> Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.....	94
<b>FIGURA 4.53</b> Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.....	95
<b>FIGURA 4.54</b> Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.....	95
<b>FIGURA 4.55</b> Curvas de consumo específico de combustível para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.....	96
<b>FIGURA 4.56</b> Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.....	96
<b>FIGURA 4.57</b> Curvas de torque corrigido para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.....	98
<b>FIGURA 4.58</b> Curvas de potência corrigida para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.....	98
<b>FIGURA 4.59</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.....	99
<b>FIGURA 4.60</b> Curvas do fator lambda para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.....	100

<b>FIGURA 4.61</b> Curvas de torque corrigido para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	101
<b>FIGURA 4.62</b> Curvas de potência corrigida para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	101
<b>FIGURA 4.63</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	102
<b>FIGURA 4.64</b> Curvas do fator lambda para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.....	102
<b>FIGURA 4.65</b> Curvas de torque corrigido para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	103
<b>FIGURA 4.66</b> Curvas de potência corrigida para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	104
<b>FIGURA 4.67</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	104
<b>FIGURA 4.68</b> Curvas do fator lambda para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.....	105
<b>FIGURA 4.69</b> Curvas de torque corrigido para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.....	106
<b>FIGURA 4.70</b> Curvas de potência corrigida para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.....	106
<b>FIGURA 4.71</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.....	107
<b>FIGURA 4.72</b> Curvas do fator lambda para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.....	107

<b>FIGURA 4.73</b> Curvas de torque corrigido para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.....	108
<b>FIGURA 4.74</b> Curvas de potência corrigida para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.....	109
<b>FIGURA 4.75</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.....	110
<b>FIGURA 4.76</b> Curvas de consumo específico de combustível para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.....	110
<b>FIGURA 4.77</b> Curvas de eficiência volumétrica do motor a plena carga funcionando com GMV.....	111

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.1</b> Composição do GNV – Gás natural veicular.....	20
<b>TABELA 3.1</b> Sistemas de medição com as faixas de medição e a origem da incerteza da calibração.....	39
<b>TABELA 3.2</b> Configuração Principal da MoTeC M4.....	41
<b>TABELA 3.3</b> Configuração dos sensores usados na MoTeC M4.....	44
<b>TABELA 3.4</b> Configuração do controle da rotação.....	44
<b>TABELA 4.1</b> Valores de IJPU para os combustíveis utilizados no testes.....	61
<b>TABELA A.1</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original a plena carga (100% borboleta).....	A.1
<b>TABELA A.2</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta).....	A.2
<b>TABELA A.3</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta).....	A.3
<b>TABELA A.4</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta.....	A.4
<b>TABELA A.5</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 71,5% borboleta.....	A.5
<b>TABELA A.6</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 71,5% borboleta.....	A.6
<b>TABELA A.7</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta.....	A.7

<b>TABELA A.8</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....	A.8
<b>TABELA A.9</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....	A.9
<b>TABELA A.10</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta.....	A.10
<b>TABELA A.11</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....	A.11
<b>TABELA A.12</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....	A.12
<b>TABELA A.13</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....	A.13
<b>TABELA A.14</b> Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....	A.14
<b>TABELA A.15</b> Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....	A.15
<b>TABELA A.16</b> Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....	A.16
<b>TABELA A.17</b> Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....	A.17
<b>TABELA A.18</b> Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....	A.18
<b>TABELA A.19</b> Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta.....	A.19

**TABELA A.20** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.20

**TABELA A.21** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.21

**TABELA A.22** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.22

**TABELA A.23** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta.....A.23

**TABELA A.24** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.24

**TABELA A.25** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.25

**TABELA A.26** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.26

**TABELA A.27** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta.....A.27

**TABELA A.28** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....A.28

**TABELA A.29** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....A.29

**TABELA A.30** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....A.30

**TABELA A.31** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....A.31

**TABELA A.32** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....A.32

**TABELA A.33** Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....A.33

**TABELA A.34** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....A.34

**TABELA A.35** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....A.35

**TABELA A.36** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta.....A.36

**TABELA A.37** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.37

**TABELA A.38** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.38

**TABELA A.39** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta.....A.39

**TABELA A.40** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.40

**TABELA A.41** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.41

**TABELA A.42** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta.....A.42

**TABELA A.43** Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....A.43

<b>TABELA A.44</b> Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....	A.44
<b>TABELA A.45</b> Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta.....	A.45
<b>TABELA A.46</b> Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....	A.46
<b>TABELA A.47</b> Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....	A.47
<b>TABELA A.48</b> Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta.....	A.48
<b>TABELA A.49</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 15 ms.....	A.49
<b>TABELA A.50</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 15 ms.....	A.49
<b>TABELA A.51</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 20 ms.....	A.50
<b>TABELA A.52</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 20 ms.....	A.50
<b>TABELA A.53</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 20 ms.....	A.51
<b>TABELA A.54</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 10 ms.....	A.51
<b>TABELA A.55</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 10 ms.....	A.52



<b>TABELA A.56</b> Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 10 ms.....	A.52
<b>TABELA A.57</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1.....	A.53
<b>TABELA A.58</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1.....	A.53
<b>TABELA A.59</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1.....	A.54
<b>TABELA A.60</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1.....	A.54
<b>TABELA A.61</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1.....	A.55
<b>TABELA A.62</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1.....	A.55
<b>TABELA A.63</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1.....	A.56
<b>TABELA A.64</b> Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1.....	A.56
<b>TABELA B.1</b> Tabelas de correção e condições de ensaio com a gasolina.....	B.1
<b>TABELA B.2</b> Tabelas de correção e condições de ensaio com o álcool etílico.....	B.2
<b>TABELA B.3</b> Tabelas de correção e condições de ensaio com o GMV.....	B.3
<b>TABELA D.2</b> Incertezas associadas máximas.....	D.1

## SIMBOLOGIA

AD – Analógico/Digital

APMS – graus antes do ponto morto superior

$A/F$  – razão mássica ar-combustível estequiométrica ( $\text{kg}_{\text{ar}}/\text{kg}_{\text{c}}$ )

APMS - Antes do ponto morto superior

BAP – pressão barométrica (kPa)

CI – ignição por compressão, do inglês “compression ignition”

COIL – número de bobinas de ignição controlada diretamente pela UCE, do inglês “number of ignition coils controlled directly by the ECU”

$c_p$  – calor específico a pressão constante (kJ/g.K)

CR T – número de dentes incluindo a falha, do inglês “crank reference teeth”

CRIP – posição da falha na polia, do inglês “crank index position”

$c_v$  – calor específico a volume constante (kJ/g.K)

CYLS – número de cilindro do motor

DELL – controle do tempo de alimentação da ignição, do inglês “ignition dwell time”

DLY – atraso na ignição, do inglês “ignition delay”

E25 – Gasolina brasileira com a adição de 25% de álcool etílico anidro

E94 – álcool etílico hidratado

EFF – do inglês “efficiency point”, parâmetro de carga para as tabelas de tempo de injeção de combustível (%)

EGT – temperatura dos gases de descarga, do inglês “exhaust gas temperature” (K)

ET – temperatura do líquido de arrefecimento do motor, do inglês “engine temperature”

FC – consumo de combustível (kg/h)

GMV – Gás metano veicular

GNV – Gás natural veicular

HC - Hidrocarboneto

ICE – Ignição por centelha

ICO – Ignição por compressão

IGN – tipo de sistema de ignição, do inglês “ignition system type”

IJBC – Curva de compensação do tempo de alimentação dos injetores, do inglês “injector battery compensation”

IJOP – do inglês “injector operation”, tipo de operação dos injetores.

IJPU – do inglês “injection pulse width”, tempo máximo ou largura do pulso de injeção (ms).

LA – sonda lambda

LDI – Limite de detonação inferior

LOAD - do inglês “load point”, parâmetro de carga para as tabelas de avanço de ignição (%)

$m_a$  – massa de ar no cilindro em um ciclo (kg)

MAP – pressão no coletor de admissão, do inglês “manifold air pressure” (kPa)

MBT – menor ângulo de avanço para o melhor torque, do inglês “maximum break torque”

$N$  – frequência de rotação do motor (rpm)

$NO_x$  – Óxido Nitroso

NTC – coeficiente de temperatura negativo, do inglês “negative temperature coefficient”

$P_{ATM}$  – pressão atmosférica (bar)

PMI – Ponto morto inferior

PMS – Ponto morto superior

PV- Diagrama Pressão versus Volume

$Q$  – calor (kJ)

$r_c$  – razão de compressão

REF – relação de falha de dentes na polia/ciclo, do inglês “REF and SYNC signal mode”

RFSN – tipo do sensor de referência, do inglês “sensor reference type”

RPM Limit – Limite de rotação do motor (rpm)

RPM Limit Ctrl Range – Tolerância para corte do motor (rpm)

RPM Limit Type – Tipo de corte no funcionamento do motor devido à alta rotação

RPM Limit Diag – Rotação acima do limite para o diagnóstico de erro (rpm)

SFC – Consumo específico de combustível, do inglês “specific fuel consumption”

SI – Ignição por centelha, do inglês spark ignition

SYSN - tipo do sensor de sincronismo, do inglês “sensor synchronism type”

$T_A$  – temperatura do ar na admissão, do inglês “air temperature”

$T_{ar}$  – temperatura do ar aspirado no motor ( $^{\circ}\text{C}$ )  
TP – posição da válvula borboleta, do inglês “throttle position”  
TS – diagrama temperatura versus entropia  
 $u$  – incerteza de medição  
 $U$  – incerteza expandida  
 $u_c$  – incerteza de medição combinada  
UCE – Unidade de controle eletrônico  
 $V$  – cilindrada geométrica do motor ( $\text{dm}^3$ )  
 $V_C$  – volume da câmara de combustão ( $\text{dm}^3$ )  
 $V_D$  – volume deslocado ( $\text{dm}^3$ )  
 $w$  – trabalho (kJ)

## SÍMBOLOS GREGOS

$\lambda$  – fator lambda - inverso da razão de equivalentes ar-combustível ( $\text{kg}_{\text{ar estq}}/\text{kg}_{\text{ar real}}$ )

$\rho_a$  – massa específica do ar nas condições atmosféricas ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$\eta_t$  – rendimento térmico

$\eta_v$  – rendimento volumétrico

$\gamma$  – razão entre os calores específicos ( $c_p/c_v$ )

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1. Aspectos Gerais

Recentemente, o uso de combustíveis alternativos tem sido debatido. A gasolina é o principal combustível para veículos de passeio no Brasil e no mundo. Uma outra grande parte da frota mundial é baseada em óleo diesel. Porém, a gasolina, como o óleo diesel, é derivada do petróleo, um recurso natural não-renovável cuja previsão é de que seus reservatórios tenham aproximadamente 50 anos de duração. O preço do barril do petróleo no mercado internacional é instável e, atualmente, tem uma tendência de alta devido a grande elevação do consumo por parte de países emergentes como a China. Os maiores produtores de petróleo têm dificuldades para manter o estoque de petróleo suficiente para atender a demanda. No Brasil, além de acompanhar a instabilidade do valor do barril de petróleo, o preço da gasolina depende da cotação do Dólar americano em relação ao Real. Outro fator que causa essa instabilidade e, normalmente, elevação do preço do petróleo é o fato das maiores reservas estarem localizadas em regiões em constante conflito. Há também um elevado custo por parte do governo norte-americano com a manutenção de bases militares nessa região, gerando sempre uma ameaça no abastecimento por causa de problemas políticos e militares em países como o Iraque, Irã e Arábia Saudita.

Os combustíveis alternativos são avaliados como uma proposta para a substituição da gasolina. Os álcoois já são usados mais comumente, tendo-os como combustíveis regulares em países como o Brasil, que desde a década de 70 oferece como opção o etanol. Também em alguns países é usado o etanol ou metanol adicionado à gasolina como antidetonante e para aliviar a demanda de petróleo. No Brasil, atualmente, é regulamentada a adição de 25% de etanol na gasolina. O gás natural também é apresentado como uma alternativa viável e pode ser usado em veículos adaptados para o seu uso ou dedicados a ele. Outro combustível que está sendo avaliado para inserção na frota de veículos pesados, porém para a substituição do óleo diesel, é o Biodiesel. Este é um combustível recente, extraído de plantas oleaginosas. Entretanto, por ser uma proposta nova, existem algumas questões pendentes quanto à introdução no mercado.

No início da década de 60, os países produtores de petróleo criaram a OPEP, Organização dos Países Exportadores de Petróleo, composta pelo Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela, que assumiu o controle do mercado internacional. Em 1973, a Arábia Saudita promoveu o embargo do petróleo e o valor do barril do petróleo quadruplicou. Em 1979, eclodiu a revolução iraniana e novamente o preço do barril subiu rapidamente (OPEC, 2005). Nessa época o álcool etílico foi introduzido no mercado brasileiro, através do PROALCOOL - Programa Nacional do Álcool. Inicialmente, o álcool etílico foi adicionado à gasolina para depois ser vendido puro para as montadoras começarem a produzir veículos movidos a álcool etílico. O mercado brasileiro, em consequência de incentivos do governo, absorveu o combustível e em pouco menos de uma década a produção de veículos a álcool etílico era de aproximadamente 95% da produção nacional de veículos de passeio. Porém, devido à crise que gerou o desabastecimento da frota, começou uma redução nas vendas de veículos com este combustível. Já no final da década de 90, a participação de mercado desses veículos não ultrapassava 1% do total. Com isso a produção de álcool etílico no Brasil só tendia a diminuir como reflexo da diminuição da frota de carros a álcool etílico, restando somente o mercado do álcool etílico para diluição da gasolina e para manutenção da frota de veículos em circulação (ÚNICA, 2005).

O álcool brasileiro, também conhecido como etanol hidratado ou álcool etílico hidratado, é extraído da cana de açúcar e é composto de 94% de etanol e 6% de água. Devido a sua origem ser a mesma do açúcar, a variação da demanda de açúcar no mercado internacional pode ocasionar variação do preço no mercado interno (ANP, 2005).

O gás natural, também conhecido como GNV - gás natural veicular, ou GMV - gás metano veicular, é uma alternativa viável tanto para motores de ciclo OTTO quanto para motores de ciclo DIESEL pelo seu alto número de octanos. Este é composto principalmente por gás metano, aproximadamente 90% vv, sendo os outros dez por cento compostos por etano, butano, propano, nitrogênio e gás carbônico. O GMV é considerado um dos melhores substitutos para a gasolina por ser um combustível pouco poluente, sendo este um critério muito importante do ponto de vista prático devido às

severas leis de emissões atualmente em vigor na Europa e EUA ou mesmo as que estarão em vigor em poucos anos no Brasil (INGERSOL, 1995).

Em meados da década de 80, o gás natural como combustível automotivo foi introduzido no Brasil através do PLANGAS - Plano Nacional de Gás Natural, com o objetivo de minimizar os efeitos da crise internacional do petróleo no mercado de veículos de carga e transporte de passageiros substituindo o óleo diesel. O gás natural apresenta menores índices de emissão de gases poluentes e partículas que o óleo diesel, tornando-o mais interessante para o fim de redução de emissões. Devido a diversos fatores internos e externos, o seu uso não se tornou economicamente atraente aos empresários que tinham como opção a conversão da frota de diesel para GMV. Nos últimos cinco anos, o interesse por esse combustível tem aumentado, porém, em automóveis pequenos e médios movidos originalmente a gasolina ou a álcool etílico. O número de postos suprindo este combustível subiu de 65 em 1999 para aproximadamente 700 no início de 2005, mostrando um elevado investimento em infraestrutura para o reabastecimento com GMV. A conversão pode ser feita através da instalação de um “kit gás” (ANP, 2003).

O desenvolvimento da tecnologia do motor flexível deu seus primeiros passos em pesquisas realizadas nos EUA, em países da Europa e no Japão com o intuito de solucionar o problema da falta de infra-estrutura de reabastecimento que inviabilizava a expansão do uso destes combustíveis. A tecnologia desenvolvida e usada nos EUA baseia-se no reconhecimento do combustível por meio de sensores que avaliam o teor de álcool etílico anidro na gasolina. Porém, a tecnologia apresentada no Brasil resultou em uma concepção superior à norte-americana, pois dispensa a utilização de novos sensores externos para a identificação do combustível: os fatores que determinam a mistura são a eficiência e a qualidade da combustão. Com estes dados obtidos da sonda lambda, ocorre a adaptação automática do sistema às novas condições de trabalho (NOTÍCIAS DA OFICINA, 2003).

Em 2003, a Volkswagen lançou no Brasil o primeiro automóvel com o motor flexível bi-combustível. Este veículo é capaz de funcionar com a gasolina brasileira (adicionada com álcool etílico) pura, com álcool etílico hidratado puro ou com a mistura destes dois combustíveis em qualquer proporção. Depois, nestes últimos dois anos, todas as outras



montadoras instaladas no país lançaram veículos equipados com motores bi-combustíveis, oferecendo uma gama de motores desde 1.0 litro até 2.0 litros. Estima-se que ao final deste ano cerca de 60% dos veículos produzidos no país sejam com esta tecnologia. Esta tecnologia bi-combustível, no panorama atual de procura de alternativas ao uso da gasolina, colabora com a efetiva utilização do álcool etílico, pois faz com que uma futura transição seja lenta e gradativa, não havendo a necessidade de alterações bruscas no mercado, pois o consumidor não precisará trocar de veículo nem fazer nenhuma adaptação indesejada com a escassez de um ou outro combustível.

Embora esta tecnologia já seja de uso comum, ela ainda não foi otimizada para se conseguir um menor consumo, através do aumento do rendimento para cada combustível, e menor índice de emissões, através de técnicas de controle. Atualmente, esses motores trabalham com uma razão de compressão média, sendo essa uma razão alta para a gasolina C e uma razão muito baixa para o álcool etílico puro. Com a possibilidade de introdução do GMV nos motores flexíveis, esta razão de compressão é ainda menor.

A elevação da razão de compressão de um motor altera várias características em seu funcionamento. A princípio, teoricamente, a sua eficiência térmica aumenta, porém deve-se considerar também o combustível que está sendo usado para se aproveitar melhor a energia que pode ser fornecida ao motor. O número de octanos do combustível, que é a sua capacidade de resistir à auto-ignição, limita a razão de compressão do motor. O número de octanos é uma das mais importantes propriedades de um combustível. Com um baixo número de octanos, ele queimará explosivamente e não progressivamente, podendo causar superaquecimento e severos danos ao motor devido ao surgimento de gradientes bruscos de pressão dentro dos cilindros (GARRET, 1991).

A tecnologia do motor flexível seria perfeitamente adequada para motores de razão de compressão variável, pois neste caso, cada um dos combustíveis seria utilizado com a sua razão de compressão adequada. No entanto, o motor com a razão de compressão variável não é, atualmente, economicamente viável, impossibilitando a sua aplicação para veículos comerciais.

Uma forma de alterar as temperaturas e pressões ao final da combustão, obtendo-se o mesmo efeito da variação da razão de compressão, é aumentar a pressão de entrada do fluido de trabalho, através de um sobre-alimentador, como um turbocompressor. Dessa forma, um turbocompressor controlado eletronicamente permitiria otimizar o seu desempenho para cada combustível ou mistura utilizadas.

Este trabalho visa analisar o comportamento da gasolina, do álcool etílico e do GMV com o aumento da razão de compressão, que permita obter parâmetros de referência que possibilitem a otimização de um motor flexível.

## **1.2. Revisão Bibliográfica**

### **1.2.1. Motores de combustão interna**

Um motor é um dispositivo que transforma uma forma de energia em outra. Um motor térmico é um motor que converte energia química de um combustível para energia mecânica (GANESAN, 1995).

Motores de combustão interna são máquinas nas quais energia química é convertida para energia térmica como resultado da combustão de uma mistura ignescente de ar e combustível e parte desta energia é transformada em energia mecânica (BASSHUYSEN; SHÄFER, 2002).

O propósito de um motor de combustão interna é a produção de potência mecânica vinda da energia química contida no combustível. Em um motor de combustão interna essa energia é liberada pela queima ou oxidação do combustível dentro do motor (HEYWOOD, 1988).

No século 19, muitas pesquisas foram realizadas para o desenvolvimento de motores de combustão interna. Os primeiros motores de ignição por centelha de quatro tempos são creditados a Nicholas A. Otto, que construiu seu primeiro protótipo em 1886. Em 1892, Rudolf Diesel aperfeiçoou o seu modelo de motor de ignição por compressão nos moldes que é usado até hoje (PULKRABEK, 1997).

Os tipos de motores automotivos mais utilizados são os motores SI, ou motores de ignição por centelha, baseados no ciclo OTTO e os motores CI, ou motores de combustão por compressão, baseados no ciclo DIESEL. Nos motores de quatro tempos o funcionamento desse dois ciclos se diferencia somente na etapa da combustão.

### 1.2.1.1. Ciclo OTTO ideal

O ciclo motor ou termodinâmico básico para os motores SI é o ciclo OTTO. O ciclo Otto consiste em 6 fases distintas, se caracterizando principalmente pela combustão a volume constante. Para a análise deste ciclo, considera-se que somente ar, comportando-se como gás ideal, é admitido para dentro do cilindro. Os diagramas de PV e TS são apresentados na figura 1.1 e mostram as fases do ciclo OTTO, composto por duas isovolumétricas e duas isentrópicas.

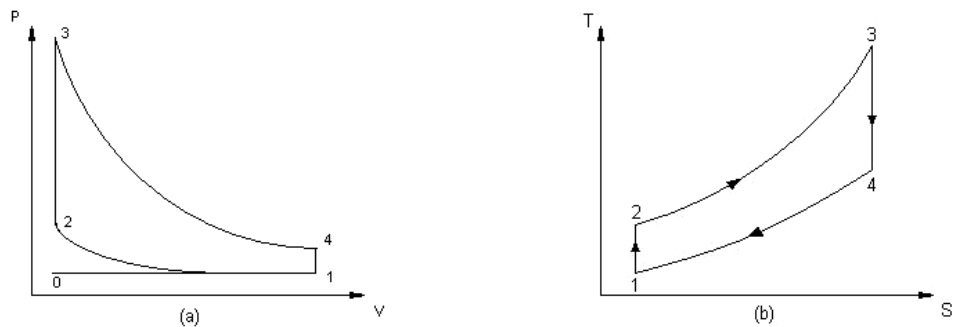


Figura 1.1: a) Diagrama PV e b) Diagrama TS para o ciclo OTTO

$0 \rightarrow 1$  – Admissão adiabática: ar é introduzido para dentro do cilindro a pressão constante.

$$Q_{0 \rightarrow 1} = 0 \quad (1.1)$$

$$w_{0 \rightarrow 1} = P_0 (v_1 - v_0) \quad (1.2)$$

$1 \rightarrow 2$  – Compressão isentrópica: o ar no interior do cilindro é comprimido quando o pistão desloca do PMI para PMS.

$$Q_{1 \rightarrow 2} = 0 \quad (1.3)$$

$$w_{1 \rightarrow 2} = c_v(T_1 - T_2) \quad (1.4)$$

2  $\rightarrow$  3 – Combustão reversível a volume constante: durante esse processo, o calor é fornecido através da combustão.

$$Q_{2 \rightarrow 3} = Q_{in} = c_v(T_3 - T_2) \quad (1.5)$$

$$w_{2 \rightarrow 3} = 0 \quad (1.6)$$

3  $\rightarrow$  4 – Expansão isentrópica: o pistão desloca do PMS para PMI produzindo trabalho.

$$Q_{3 \rightarrow 4} = 0 \quad (1.7)$$

$$w_{3 \rightarrow 4} = c_v(T_3 - T_4) \quad (1.8)$$

4  $\rightarrow$  1 – Exaustão a volume constante: o calor não aproveitado é rejeitado para a fonte fria.

$$Q_{4 \rightarrow 1} = Q_{out} = c_v(T_1 - T_4) \quad (1.9)$$

$$w_{4 \rightarrow 1} = 0 \quad (1.10)$$

1  $\rightarrow$  0 – Exaustão a pressão constante: o pistão desloca do PMI para PMS para a expulsão dos gases resultantes da queima.

$$Q_{1 \rightarrow 0} = 0 \quad (1.11)$$

$$w_{1 \rightarrow 0} = P_0(v_0 - v_1) \quad (1.12)$$

No ciclo ideal, o trabalho realizado para a introdução e retirada do fluido de trabalho é nulo, ou seja:

$$w_{0 \rightarrow 1} + w_{1 \rightarrow 0} = P_0(v_1 - v_1) + P_0(v_0 - v_1) = 0 \quad (1.13)$$

A eficiência térmica do ciclo é o trabalho realizado dividido pelo calor introduzido no processo. Esta eficiência pode ser representada também pela equação:

$$(\eta_t)_{OTTO} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}, \quad (1.14)$$

sendo  $\gamma$  a razão entre os calores específicos e  $r_c$  a razão de compressão. Através desta equação de eficiência, vê-se que a eficiência térmica do motor funcionando com o ciclo teórico OTTO depende somente da razão de compressão (GANESAN, 1995 e PULKRABEK, 1997).

### 1.2.1.2. Ciclo real para motores SI

As transformações reais de um motor de quatro tempos de ignição por centelha são mostradas na figura 1.2. A figura 1.3 mostra o diagrama PV para o ciclo Otto real.

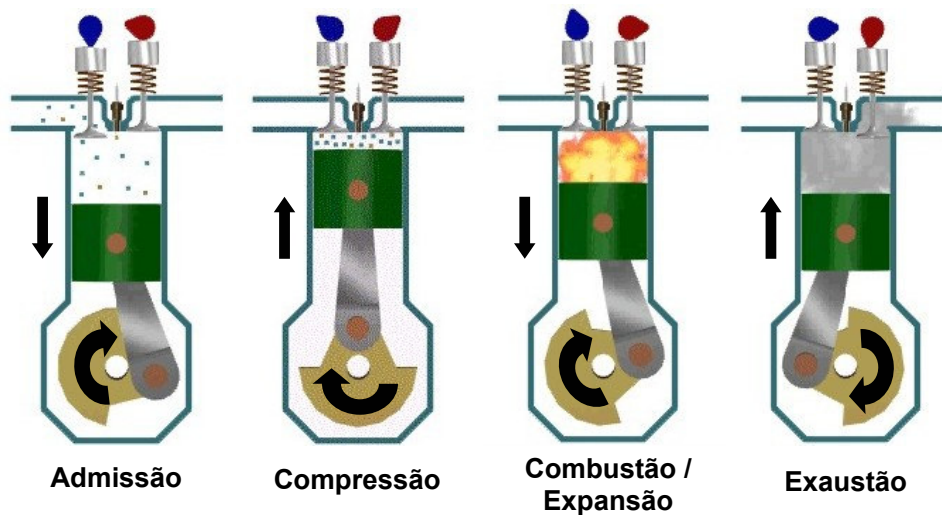


Figura 1.2: Os quatro tempos do ciclo real

Primeiro tempo - Admissão: o pistão se desloca do PMS (ponto morto superior) até o PMI (ponto morto inferior) com a válvula de admissão aberta e a de descarga fechada. Isso aumenta o volume da câmara de combustão que propicia uma queda de pressão. A diferença de pressão resultante entre o sistema de admissão e a pressão atmosférica externa faz com que o ar seja aspirado para o interior do cilindro. Combustível é adicionado na quantidade necessária por eletros-injetores ou carburadores para formar a mistura ar/combustível antes da sua entrada no cilindro.

Segundo tempo - Compressão: Quando o pistão atinge o PMI, a válvula de admissão se fecha e o pistão retorna para o PMS com todas as válvulas fechadas. A mistura de ar/combustível é comprimida, elevando a pressão e temperatura no interior do cilindro. Próximo ao final da compressão, a vela de ignição fornece a centelha e a combustão é iniciada.

Terceiro tempo - Combustão e expansão: A combustão da mistura ar/combustível ocorre em um pequeno intervalo de tempo com o pistão próximo ao PMS. Ela se inicia próximo ao final da compressão e termina no início da expansão. A combustão altera a composição da mistura gasosa para os produtos da combustão e eleva a temperatura no cilindro até atingir a temperatura máxima, elevando também a pressão até atingir a pressão máxima no final da compressão.

Com as válvulas fechadas, a alta pressão criada pela combustão empurra o pistão até o PMI, produzindo o trabalho do ciclo do motor e diminuindo a temperatura e a pressão dentro do cilindro antes do pistão atingir o PMI.

“Blowdown” ou abertura da válvula de descarga: ao final da expansão, a válvula de descarga é aberta e ocorre o início da exaustão. A pressão e temperatura no cilindro ainda são altas em relação à vizinhança, e a diferença de pressão entre o interior do cilindro e o sistema de exaustão faz com que os gases de descarga sejam expelidos do cilindro quando o pistão está perto do PMI. Esses gases de descarga ainda possuem alta entalpia, o que reduz a eficiência do ciclo térmico.

Quarto tempo - Exaustão: Quando o pistão alcança o PMI, o “blowdown” já terminou, porém, o cilindro ainda está com os gases resultantes da combustão aproximadamente a pressão atmosférica. Como a válvula de descarga permanece aberta e o pistão é deslocado do PMI ao PMS, a maioria dos gases de exaustão remanescentes é expelida, deixando somente o volume da câmara de combustão ocupado por esses gases. No final do tempo de exaustão, a válvula de admissão começa a se abrir e a válvula de descarga a se fechar. Este tempo em que as duas estão abertas ao mesmo tempo é chamado de cruzamento de válvulas e ajuda a trocar os gases remanescentes da combustão por mistura fresca. Ao final da exaustão, o ciclo se reinicia (PULKRABEK, 1997).

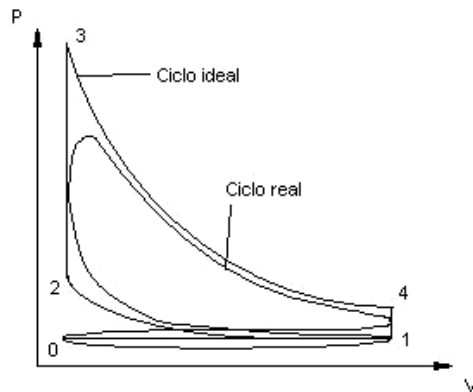


Figura 1.3: Diagrama PV para o ciclo OTTO real

### 1.2.1.3. Razão de compressão e número de octanos.

A razão de compressão é uma característica construtiva do motor que tem grande influência em sua eficiência térmica, sendo definida como sendo o quociente entre os volumes do motor quando o pistão está no PMS, ponto morto superior, e no PMI, ponto morto inferior. Segundo a figura 1.4, o volume do cilindro quando o pistão está no PMS é o volume da câmara de combustão,  $V_C$ , e o volume quando o pistão está no PMI é o volume da câmara de combustão mais o volume deslocado,  $V_D$ . O volume deslocado é o volume que o pistão varre quando o pistão desloca do PMI para o PMS ou vice-versa (PULKRABEK, 1997).

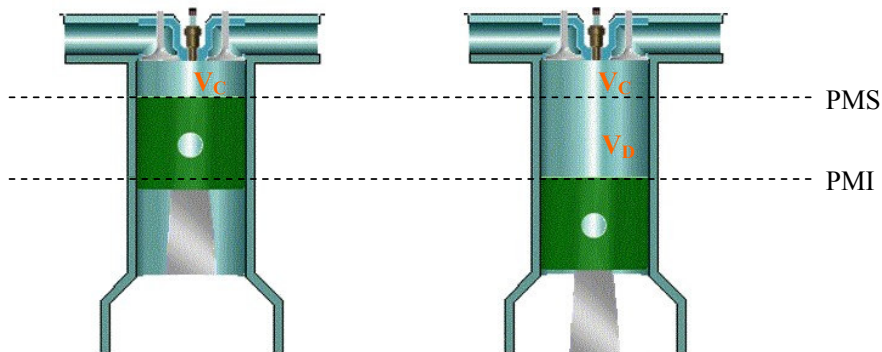


Figura 1.4: Cilindros com o pistão no PMS à esquerda e no PMI à direita

A razão de compressão pode ser dada, então, pela equação:

$$r_c = \frac{V_C}{V_C + V_D}. \quad (1.15)$$

Nota-se através da equação 1.15 que se reduzindo o  $V_C$  e mantendo o valor do volume deslocado, ocorre a elevação da razão de compressão. Esta redução do  $V_C$  pode ser feita simplesmente com a adição de material na cabeça do pistão, sendo necessário somente a troca do jogo de pistões.

A figura 1.5 mostra a influência da razão de compressão na eficiência efetiva e na pressão média efetiva em um motor SI a plena carga. O avanço foi calibrado para o torque máximo. A eficiência se eleva até a razão de compressão de 17:1 e depois começa a diminuir devido ao aumento das forças de fricção (BASSHUYSEN, SCHÄFFER, 2004).

Porém, o aumento da razão de compressão há o aumento da emissão de óxidos nitrosos e hidrocarbonetos (BASSHUYSEN, SCHÄFFER, 2004).

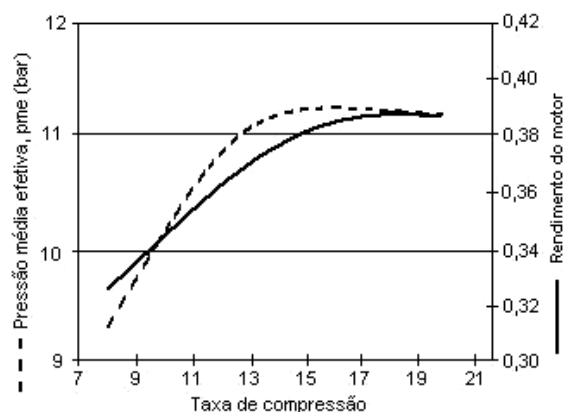


Figura 1.5: Influência da razão de compressão na PME e na eficiência efetiva do motor

O número de octanos, ou octanagem, é a medida prática da resistência de um combustível à detonação (HEYWOOD, 1995). O número de octanos de um combustível é a característica que descreve como o combustível irá se comportar em relação à auto-ignição. Ela é calculada através de métodos práticos que a relacionam a uma mistura de n-heptano, considerando-o com o número de octanas igual a zero, e isooctano, considerando o seu número de octanos igual a 100 (PULKRABEK, 1997).



#### 1.2.1.4. Combustão e Detonação nos motores

Em uma combustão normal, a chama é iniciada pela centelha e atravessa a câmara de combustão de maneira uniforme. Como a combustão dura por um período finito de tempo, esta combustão é iniciada antes do pistão atingir o PMS, ao final da compressão, o que causa uma elevação de pressão associada com a combustão antes do PMS e um aumento no trabalho de compressão. Um maior avanço de ignição causa também esse efeito, elevando as pressões dentro do cilindro e o trabalho do ciclo de expansão. Se o avanço de ignição for muito elevado, a pressão máxima será muito antes do pistão atingir o PMS, elevando excessivamente o trabalho de compressão. Por outro lado, se o avanço de ignição for muito atrasado, a pressão máxima será tardia, reduzindo o trabalho de expansão e, algumas vezes, elevando em excesso a temperatura dos gases na descarga. Obviamente, há um avanço de ignição que apresenta uma melhor interação entre estes dois trabalhos, gerando o maior torque para um determinado regime de operação do motor. Este avanço é conhecido pela sigla MBT, do inglês “minimum advance for best torque” ou “maximum break torque”. A figura 1.6 mostra o comportamento do torque em relação ao avanço de ignição. Ignição atrasada ou avançada em relação ao MBT causa perda de desempenho. (STONE, 1993 e HEYWOOD, 1995).

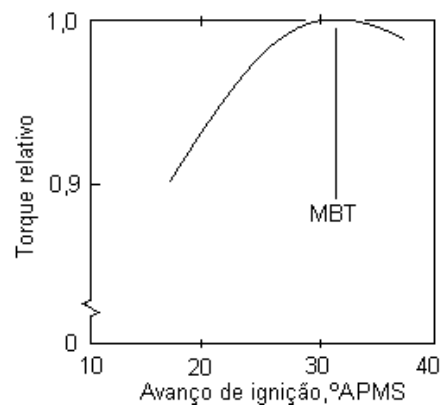


Figura 1.6: Efeito do avanço de ignição no torque com a rotação constante e plena carga. (HEYWOOD, 1995)

Durante a queima, o calor liberado aumenta a temperatura e a pressão da parte queimada dentro do cilindro. Para equilibrar a pressão, a parte queimada da mistura se

expande e comprime a parte não queimada, aumentando a sua temperatura. Esse processo ocorre até o final da combustão, aumentando gradativamente a pressão e a temperatura da mistura não-queimada (GANESAN, 1995). Quando a temperatura da mistura não-queimada excede a temperatura de auto-ignição do combustível, uma ignição espontânea se inicia na região de mistura não queimada. Se a reação é suficientemente rápida, com uma quantidade de mistura extrema, essa ignição provoca uma elevação de pressão local, causando a formação de ondas de pressão e o choque destas com as paredes do cilindro e com a frente de chama. A este fenômeno se dá o nome de detonação (TAYLOR, 1964).

Alguns parâmetros no projeto e na operação de um motor que tendem a reduzir a temperatura da mistura não-queimada podem minimizar a possibilidade de ocorrer a detonação. Alguns destes parâmetros são descritos abaixo:

Razão de compressão: fator importante que determina a temperatura e pressão no início e no final da combustão. Um aumento na razão de compressão eleva a pressão e a temperatura dos gases no final da compressão, o que pode acarretar o aparecimento da detonação. O aumento da tendência a detonar do motor com a razão de compressão é a principal razão para se limitá-la a valores pré-estabelecidos para cada combustível.

Quantidade de mistura ou combustível admitida: A redução da massa admitida no interior do cilindro pela abertura da borboleta ou por redução na sobre-alimentação reduz a temperatura e a densidade da carga na hora da ignição, reduzindo a possibilidade de ocorrer detonação.

Temperatura da mistura admitida: o aumento na temperatura da mistura faz a temperatura na compressão ficar maior e, assim, aumenta a tendência à detonação. Adicionalmente, isto afeta negativamente a eficiência volumétrica. Por isso, é preferível uma temperatura menor para admissão, embora uma baixa temperatura possa causar problemas na partida a frio do motor.

Temperatura da parede da câmara de combustão: a temperatura da parede da câmara de combustão tem um papel predominante na detonação. Pontos quentes na parede da câmara propiciam a auto-ignição.

Atraso da ignição: o atraso na centelha faz com que o início da ignição ocorra mais perto do PMS, faz com que as pressões máximas ocorram também mais tarde na expansão, reduzindo a sua intensidade. Isto reduz a detonação, porém também reduz o torque, já que o tempo no qual ocorre a ignição se distancia do MBT (GANESAN, 1995).

#### 1.2.1.5. Eficiência Volumétrica

Em um motor de combustão interna, quanto maior a quantidade de ar admitida para dentro do cilindro, maior é a potência e melhor é o desempenho deste motor. Esta capacidade de enchimento é avaliada através da eficiência volumétrica, que relaciona a massa real de ar introduzida no cilindro e a massa teórica, ou seja, a quantidade de ar que poderia ser aspirada pelo motor a temperatura e pressão ambiente. Teoricamente, a eficiência volumétrica pode ser apresentada como na equação 1.16, sendo  $\eta_v$  o rendimento volumétrico,  $m_a$  a massa de ar no cilindro em um ciclo (kg),  $\rho_a$  a massa específica do ar nas condições atmosféricas (kg/dm<sup>3</sup>) e  $V_D$  o volume deslocado (dm<sup>3</sup>). Entretanto, a fórmula usada pela FIAT-GM POWERTRAIN (2004) para os ensaios dinamométricos é mostrada na eq. 1.17, onde  $FC$  é o consumo horário de combustível (kg/h),  $A/F$  é a razão ar-combustível estequiométrica,  $\lambda$  é o valor do fator lambda,  $V$  é a cilindrada geométrica do motor (dm<sup>3</sup>),  $P$  é a pressão atmosférica (bar),  $T$  é a temperatura do ar aspirado no motor (°C) e  $N$  é a frequência de rotação do motor (rpm).

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_a V_D} \quad (1.16)$$

$$\eta_v = \frac{1000 \cdot FC \cdot (A/F)_{ESTEQ} \cdot \lambda}{V/2 \cdot [1,2928 \cdot (P_{ATM} / 1,0133) \cdot (273/(273 + T_{ar}))]} \cdot N \cdot 60 \quad (1.17)$$

#### 1.2.1.6. Fator de correção para potência de um motor

Segundo a norma de ensaios de motores NBR 1585 (1996), para condições atmosféricas diferentes das definidas pela norma, os valores de potência devem ser corrigidos para as condições padrão. A correção de potência e torque é feita pela equação 1.18, sendo

$P_{REF}$ , o valor da potência nas condições de referência,  $P_Y$ , a potência medida e  $\alpha_c$ , o fator de correção.

$$P_{REF} = \alpha_c \cdot P_Y \quad (1.18)$$

O valor do fator de correção deve ser calculado através da equação 1.19 (NBR 1585, 1996):

$$\alpha_c = \left\{ \frac{99}{7,5} \frac{P_{ATM}}{100} \times \left[ \left( \frac{U_R}{100} \right) \times e^{\left( \frac{-5345,5}{T_{ar}} + 21,106 \right)} \right] \right\}^{1,2} \cdot \left( \frac{T_{ar} + 273}{298} \right)^{0,6}, \quad (1.19)$$

na qual  $P_{ATM}$  é a pressão atmosférica (kPa),  $U_R$  é a umidade relativa do ar (%) e  $T_{ar}$  é a temperatura do ar aspirado no motor (°C).

## 1.2.2. Combustíveis

O combustível mais utilizado em veículos de passeio é a gasolina. O óleo Diesel é o segundo, sendo ambos derivados do petróleo. Como combustíveis alternativos aos derivados do petróleo, têm-se os álcoois, principalmente o etanol e o metanol, o gás natural, o hidrogênio e o biodiesel. Cada um possui suas próprias características físicas e químicas, como também os métodos de obtenção e os níveis de emissão de poluentes diretos e indiretos que os fazem uma melhor alternativa para diferentes situações. Destes combustíveis alternativos, os que já apresentam o uso mais comum e difundido no Brasil e no mundo são o etanol, ou álcool etílico, e o gás natural.

### 1.2.2.1. Gasolina

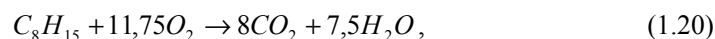
O principal combustível para motores SI é a gasolina, que é uma mistura de vários hidrocarbonetos e é extraída do petróleo. O petróleo é constituído quase inteiramente de carbono e hidrogênio com alguns traços de outros componentes químicos, variando de 83% a 87% de carbono e de 11% a 14% de hidrogênio em conteúdo mássico. O carbono

e o hidrogênio se combinam de diversas formas e formam muitos tipos de hidrocarbonetos diferentes (PULKRABEK, 1997).

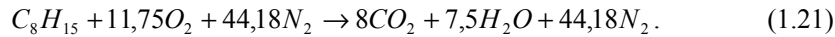
O petróleo cru é extraído dos poços e é separado em vários produtos por destilação usando-se processos térmicos ou catalíticos. A maior ou menor produção de cada derivado é determinado pela exigência do mercado consumidor. Assim, a produção em massa de veículos automotivos demandou um aumento da produção de gasolina. Com isso, aperfeiçoaram-se as técnicas de refino. O craqueamento, do inglês cracking, consiste em promover a quebra das moléculas maiores em menores e mais simples. Outro método, que se caracteriza por ser o processo inverso do craqueamento, é a alquilação, que combina moléculas menores dos produtos gasosos levando a produção de moléculas de hidrocarbonetos maiores (SILVA, E.R.; SILVA, R.R.H, 1997).

Fazendo-se uma aproximação da gasolina com um hidrocarboneto combustível que possui um componente único, a estrutura molecular deste componente seria  $C_8H_{15}$  com um peso molecular igual a 111. Pode-se fazer também a aproximação da gasolina com o hidrocarboneto real isooctano  $C_8H_{18}$  por ser o componente real que mais se aproxima com as características estruturais e termodinâmicas e ser o componente químico mais abundante na composição da gasolina. No entanto, algumas características químicas do isooctano são diferentes, como por exemplo, o número de octanos, que na gasolina é cerca de 90 e no isooctano é 100, e a relação ar/combustível, que para a gasolina é cerca de 14,6 e para o isooctano é 15,1. Então, a melhor aproximação em termos de número de octanos e relação ar/combustível é feita com  $C_8H_{15}$  (PULKRABEK, 1995).

A combustão completa da gasolina considerando-a como um componente único fornece:



porém a queima em um motor é feita através de uma mistura do combustível com o ar ambiente, considerando que o ar é uma mistura de gases. Para fins de simplificação do cálculo da equação de equilíbrio, a fração do ar que não é oxigênio é considerada como sendo nitrogênio, sendo que para cada mol de oxigênio tem-se então 3,76 moles de nitrogênio. Esta nova equação pode ser apresentada como (PULKRABEK, 1995):



Considerando que a massa molecular do ar,  $M_{ar}$ , é 29 kg/mol, e a da gasolina,  $M_{gas}$ , é 111 kg/mol, tem-se:

$$AF_{gas} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{N_{ar} \cdot M_{ar}}{N_{gas} \cdot M_{gas}} = \frac{(55,93)(29)}{(1)(111)} \approx 14,6 \text{ kg}_{ar} / \text{kg}_c. \quad (1.22)$$

Como a gasolina brasileira é adicionada com 25% de álcool etílico, então tem uma razão ar-combustível intermediária que pode ser obtida por:

$$AF_{gasohol} = (0,75 \cdot AF_{gas}) + (0,25 \cdot AF_{et}) = (0,75 \cdot 14,6) + (0,25 \cdot 9,0) \approx 13,2 \text{ kg}_{ar} / \text{kg}_c. \quad (1.23)$$

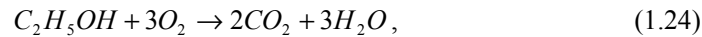
que é a razão ar-combustível estequiométrica apresentada por Pulkrabek (1997).

#### 1.2.2.2. Álcool Etílico

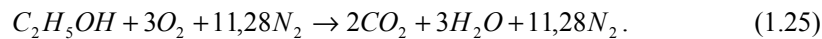
O álcool etílico é um composto químico da família dos álcoois contendo em sua fórmula química dois átomos de carbono e um radical OH, que o caracteriza como álcool. Sua fórmula básica é  $C_2H_5OH$ . Ele pode ser obtido através de vegetais ricos em açúcar, como a cana-de-açúcar no Brasil. O álcool combustível brasileiro é também chamado E94 por ser hidratado e conter 94% de álcool etílico e cerca de 6% de água.

A produção do álcool etílico da cana-de-açúcar utiliza parte dos seus próprios rejeitos para a geração de energia para a sua fabricação, como por exemplo, o bagaço da cana. O processo de fabricação envolve duas etapas que são a fermentação, quando, através da ação de microorganismos, o açúcar presente no melaço se transforma em álcool e a destilação, usada para separar o álcool do chamado mosto de fermentação. Como resultado da fabricação um resíduo conhecido como vinhoto pode acarretar grandes problemas ecológicos se lançado em rios e lagos através da proliferação descontrolada de bactérias reduzindo drasticamente a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Por esse motivo a Secretaria do Meio Ambiente faz severas restrições ao projeto de destilarias e as obriga a processar adequadamente o seu vinhoto (SILVA, E.R.; SILVA, R.R.H, 1997).

A combustão completa do etanol pode ser descrita como:



porém a queima em um motor é feita através de uma mistura do combustível com o ar ambiente, considerando que o ar é uma mistura de gases. Para fins de simplificação do cálculo da equação de equilíbrio, a parte do ar que não é oxigênio é considerado como sendo nitrogênio, sendo que para cada mol de oxigênio tem-se então 3,76 moles de nitrogênio. Esta nova equação pode ser apresentada como:



Considerando que a massa molecular do ar,  $M_{ar}$ , é 29 kg/mol, e a do álcool etílico,  $M_{et}$ , é 46 kg/mol, tem-se:

$$AF_{et} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{N_{ar} \cdot M_{ar}}{N_{et} \cdot M_{et}} = \frac{(14,28)(29)}{(1)(46)} \approx 9,0 \text{ kg}_{ar} / \text{kg}_c, \quad (1.26)$$

que é a razão ar-combustível apresentada por Pulkrabek (1997).

O álcool etílico possui o poder calorífico inferior ao da gasolina, porém como a sua razão ar-combustível é também inferior, necessitando de menos quantidade de ar para a combustão completa porque já possui oxigênio em sua composição, a mistura ar-combustível do álcool etílico possui maior quantidade de energia disponível para uma mesma massa de ar.

Pulkrabek (1997) destaca algumas vantagens e desvantagens do uso do álcool etílico:

- Combustível renovável que pode ser obtido de diversas fontes, naturais ou manufaturadas.
- Possui alta octanagem com alta resistência a detonação. Motores que funcionam com combustíveis de alta octanagem podem funcionar mais eficientemente com razões de compressão maiores.

- Apresentam menores índices de emissão de poluentes que a gasolina e são combustíveis com menores teores de enxofre.
- Alguns motores flexíveis funcionam com gasolina, álcool etílico, ou mistura desses em qualquer proporção sem necessidade de adaptação.
- Baixo conteúdo energético. Isso significa que quase 1,5 vez mais combustível é necessário para gerar a mesma potência. Com a mesma eficiência térmica e motores similares, a autonomia do veículo é diminuída na mesma proporção.
- Álcool etílico é muito mais corrosível a cobre, bronze, alumínio, borracha e plásticos. O uso de álcool etílico deve ser levado em consideração nos projetos de automóveis porque acarreta algumas restrições na escolha dos materiais.
- Devido à baixa pressão de vapor e evaporação, geralmente os motores a álcool etílico apresentam dificuldade de partida com temperaturas mais baixas. Então, o veículo deve ser equipado com um sistema de partida a frio que injeta uma pequena quantidade de gasolina para facilitar o início do funcionamento.
- É um combustível que, por ser facilmente inflamável, apresenta algum problema no armazenamento. Também possui forte odor que causa dores de cabeça e tonteira.

### 1.2.2.3. Gás Metano Veicular (GMV)

O gás metano veicular, ou gás natural veicular, naturalmente se apresenta na forma de uma mistura gasosa de hidrocarbonetos, em sua maioria metano. As primeiras extrações de gás natural foram obtidas juntamente com a exploração de petróleo, o que criou erroneamente o conceito de que o gás natural ocorre com ele. Atualmente, a maioria do gás natural é obtida especificamente de poços de gás natural (INGERSOLL, 1995).

O gás natural comercializado no Brasil é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, ANP, e é composto de aproximadamente 90% de metano ( $\text{CH}_4$ ), sendo os outros 10% compostos por hidrocarbonetos mais pesados, como o etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) e butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) e outros gases como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e



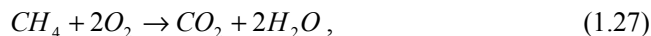
gás carbônico (CO<sub>2</sub>), segundo dados da GASMIG (2004). A composição média do gás natural veicular em novembro de 2004 fornecido pela GASMIG é apresentada na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Composição do GMV – Gás metano veicular

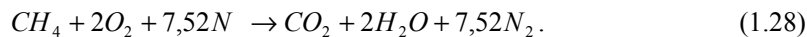
Composição do Gás Metano Veicular – novembro de 2004								
Composto	Metano	Etano	Propano	Butano e pesados	N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Total
%	89,06%	8,45%	1,22%	0,10%	1,16 %	0,75%	0,00%	100%
Massa molecular	16,03	30,07	44,09	58,12	33,67	28,01	32,00	17,807

Fonte: GASMIG, 2004

A combustão completa do gás metano pode ser descrita como;



porém a queima em um motor é feita através de uma mistura do combustível com o ar ambiente, considerando que o ar é uma mistura de gases. Para fins de simplificação do cálculo da equação de equilíbrio, a fração do ar que não é oxigênio é considerada como sendo nitrogênio, sendo que para cada mol de oxigênio tem-se então 3,76 moles de nitrogênio. Este nova equação pode ser apresentada como:



Considerando que a massa molecular do ar,  $M_{ar}$ , é 29 kg/mol, a do metano,  $M_{met}$ , é 16 kg/mol, tem-se:

$$AF_{met} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{N_{ar} \cdot M_{ar}}{N_{met} \cdot M_{met}} = \frac{(9,52)(29)}{(1)(16,02)} \approx 17,2 \text{ kg}_{ar} / \text{kg}_c. \quad (1.29)$$

Apesar de haver outros componentes químicos dissolvidos neste combustível, o valor obtido na equação acima é o usual quando se trata de GNV (PULKRABEK, 1997).

O uso de misturas ricas para o GMV não é recomendado por não apresentar vantagens que são notadas com outros combustíveis líquidos. Não há aumento significativo do

torque, e como GMV não apresenta o calor latente de evaporação, não justificando então o uso de misturas mais ricas para ajudar no resfriamento da câmara de combustão como é o caso dos combustíveis líquidos (KATO *et al.*, 1999). O uso de misturas pobres também não é aconselhável por elevar os níveis de emissões de HC e NO<sub>x</sub> para níveis acima do aceitável (INGERSOLL, 1995).

Por ser um combustível gasoso que é armazenado na forma de gás comprimido, o gás natural deve ser armazenado em cilindro sem costura a altas pressões que variam entre 220 e 250 kPa.

O gás natural, se comparado com a gasolina e o álcool etílico, tem um menor valor calorífico por unidade de massa de mistura e menor eficiência volumétrica. A eficiência volumétrica é reduzida por ser um combustível gasoso. Isso reduz o desempenho do motor em relação ao obtido com o álcool etílico e com a gasolina. O GNV também pode levar algumas peças a um desgaste prematuro e anormal, como as válvulas e a sede das válvulas, devido à falta de lubrificidade deste combustível (KATO *et al.*, 1999).

Pulkrabek (1997) destaca algumas vantagens e desvantagens do uso do gás natural veicular:

- O número de octanas do gás natural é 120, que o faz um ótimo combustível para motores SI, permitindo que eles tenham altas razões de compressão. Uma razão para esta alta octanagem é a alta velocidade da frente de chama.
- Baixa emissão de poluentes, mesmo se comparado com etanol. Também não há emissão de particulados.
- O combustível é abundante e pode ser obtido de fontes não renováveis ou renováveis, através da decomposição de matéria orgânica.
- O combustível tem baixa energia específica resultando em baixo desempenho do motor.
- O motor funcionando com gás natural apresenta baixa eficiência volumétrica pelo fato do combustível ser gasoso.

- Necessidade de ser armazenado em cilindros pressurizados que, quando se trata de automóveis adaptados, reduz consideravelmente o espaço interno do veículo. Também, devido à capacidade dos cilindros, reduz a autonomia do veículo.

### **1.2.3. Controle eletrônico do motor**

Os primeiros sistemas de injeção de combustíveis eram completamente mecânicos e não permitiam que houvesse o controle do motor para os diversos regimes de funcionamento. Com a introdução de regulamentos de emissões mais rigorosos, ficou claro que o grau de precisão necessário só poderia ser atingido através de controles eletrônicos de ciclo fechado.

O controle eletrônico é feito por uma unidade central eletrônica, UCE, que é o cérebro de todo o sistema. Através de um software instalado na UCE, o sistema de injeção e o sistema de ignição são controlados. A UCE faz a leitura dos sinais dos sensores instalados no motor e calcula qual a quantidade exata de combustível deve ser injetada e quando será a ignição da mistura no interior do cilindro.

Com o auxílio dos sensores de rotação, de pressão do ar no coletor de admissão e da abertura da válvula borboleta, a UCE consegue saber em que regime está funcionando o motor em tempo real. Assim, a UCE consulta os mapas de combustível e avanço de ignição obtidos durante a calibração, e obtém a quantidade de combustível a ser injetada e o avanço de ignição que deve ser aplicado. Já os sensores de temperatura e pressão do coletor de admissão, temperatura da água do motor e são usados para cálculos de fatores para corrigirem os mapas de combustível e avanço de ignição. Há outro tipo de sistema de controle eletrônico que usa as leituras dos sensores de rotação, temperatura do ar e pressão do ar no coletor para calcular diretamente a quantidade de ar admitida e, conseqüentemente, a quantidade de combustível que deve ser injetada.

A sonda lambda, ou sensor de oxigênio, é um dos sensores do sistema de controle. A sonda lambda detecta desvios no conteúdo de oxigênio dos gases de exaustão, indicando se a mistura está estequiométrica, rica ou pobre. Com esta informação, a UCE pode corrigir a quantidade de combustível injetada para manter a mistura estequiométrica ou com a razão ar/combustível desejada. (GARRETT, 1991)

### 1.2.3.1. Calibração do sistema de gerenciamento

A calibração da UCE deve ser feita levando-se em consideração toda a teoria sobre o combustível e o funcionamento de motores de combustão interna. Porém, é um procedimento experimental e somente o comportamento do motor durante a calibração pode revelar detalhes sobre o seu funcionamento.

O ângulo de injeção do combustível é o parâmetro que controla em qual ângulo da árvore de manivela antes do PMI a injeção de combustível se iniciará ou terminará. Normalmente, a configuração mais usada para o ângulo de injeção é como sendo o ângulo em que a injeção de combustível terminará. O combustível, depois de injetado, se mistura com o ar e leva um tempo para entrar no cilindro. Com a calibração do ângulo de injeção, a injeção acontece no melhor momento para o processo, com o ar da admissão com a maior velocidade, facilitando a atomização, fazendo com que o combustível seja mais bem aproveitado e reduzindo o consumo de combustível. Quando a injeção é feita com as válvulas de admissão fechadas, o combustível adere às paredes do coletor.

O tempo de injeção é o tempo no qual o eletroinjetor permanecerá aberto. Sabendo-se a vazão do injetor, pode-se prever o tempo que o injetor deve permanecer aberto para fornecer a quantidade de combustível desejada, seguindo a razão ar-combustível estequiométrica da mistura. É recomendado o uso de misturas ricas para cargas mais altas, o uso de mistura muito ricas, na faixa de 0,8 para lambda quando se busca maior potência e o uso de misturas estequiométricas para baixo índice de emissões.

O ângulo de avanço de ignição é o parâmetro que permite controlar o momento exato quando a combustão da mistura dentro do cilindro será iniciada e é calibrado em graus antes do PMS. Com isso, busca-se o melhor aproveitamento da combustão e tenta-se evitar a detonação. O ajuste do avanço deve visar o menor ângulo de avanço para se obter o melhor torque (MBT). Porém, se ocorrer surgimento de detonação com ângulos de avanços de ignição menores que o MBT, o ângulo de avanço de ignição deve ser limitado pelo LDI, ou limite de detonação inferior. O ângulo de avanço, quando em excesso, pode gerar detonação, pois eleva a temperatura e pressão da mistura dentro da

câmara de combustão enquanto este ângulo, quando é reduzido, pode causar perda de desempenho do motor e aumento da temperatura dos gases de descarga.

O tempo permanência da alimentação da bobina do primário também deve ser cuidadosamente calibrado a fim de evitar a queima ruim dentro do cilindro. De fato, a energia necessária para que a centelha aconteça é função desse tempo. Deve-se, através desse ajuste, tentar alcançar a corrente de pico máxima para que o módulo de ignição quase alcance o limite de corrente para variadas tensões da bateria, pois este tempo deve ser mais alto quando a tensão de alimentação da bateria é menor.

A compensação do tempo para a alimentação dos injetores visa a corrigir o tempo de injeção no caso da tensão de alimentação da UCE fornecida pela bateria variar, causando diminuição ou aumento de período. Essa variação pode fazer a mistura ar-combustível desviar da faixa de valores desejados provocando misturas mais pobres ou mais ricas que a calibrado e, conseqüentemente, um comportamento inapropriado do motor para a situação.

Há, também, devido à variação das condições ambientais, a necessidade de calibração do ajuste automático dos mapas de avanço ignição e tempo de injeção em relação da temperatura e pressão externas, assim como a calibração do ajuste automático para estes mapas em relação à temperatura da água do motor e para partida a frio. Porém, estes ajustes são demasiado problemáticos por envolver o uso de salas climatizadas que simule várias condições diferentes (BAETA, 2004).

#### **1.2.4. Os motores flexíveis no Brasil**

Apesar do conceito de motores flexíveis não ter surgido no Brasil, hoje o maior mercado para esse tipo de motor está no Brasil. O primeiro tipo de sistema flexível, desenvolvido nos Estados Unidos, faz uso de sensores para detectar o teor de metanol na gasolina. Contudo, a concepção tecnológica desenvolvida no Brasil utiliza a sonda lambda e o software da UCE para essa identificação. Entretanto, o motor flexível tem como base os motores a gasolina, porém algumas modificações mecânicas foram feitas para um melhor aproveitamento dos dois combustíveis. Os motores movidos a álcool

etílico foram desenvolvidos no Brasil, o que facilitou a adaptação dos motores flexíveis para ser usado tanto para a gasolina quanto para o álcool etílico.

Os motores flexíveis sofreram algumas alterações em relação aos motores originalmente movidos a gasolina. O eixo comando de válvulas é diferenciado, não sendo usado o original do motor a gasolina. As velas de ignição possuem grau térmico intermediário entre a gasolina e o álcool etílico. Além disso, esses motores possuem dois sistemas herdados das versões a gasolina e a álcool etílico: o sistema de acúmulo de vapores da gasolina através de filtro de carvão ativado e o sistema de partida a frio dos motores a álcool etílico.

O combustível usado no motor é identificado pela UCE para que o motor trabalhe corretamente, já que cada combustível possui características diferentes. Durante a calibração da UCE, são feitos mapas para a gasolina e para o álcool etílico e é calculada a diferença entre esses mapas. Juntamente com os mapas base elaborados durante a calibração, os mapas com as diferenças entre os combustíveis são gravados na UCE. Quando a UCE, através do desvio do sinal da sonda lambda, diagnostica que a concentração de álcool etílico na gasolina foi alterada, o software entra em funcionamento para detectar esta alteração. O sinal da sonda é lido para se identificar e calcular a nova razão ar/combustível. A proporção entre a nova razão ar/combustível e a diferença entre a razão ar/combustível estequiométrica da gasolina e do álcool etílico é determinada para ser usada nos mapas da UCE. Com isso, a UCE pode novamente injetar a quantidade de combustível ideal e dar o avanço de ignição certo para a nova mistura (NOTÍCIAS DA OFICINA, 2003a e 2003b).

#### **1.2.5. Ensaios dinamométricos**

O ensaio dos motores de combustão interna é uma importante parte da pesquisa e desenvolvimento, podendo ser usado também no ensino de motores. No desenvolvimento de motores, este tipo de ensaio é executado em dinamômetro controlado eletronicamente por computador com o motor instrumentado e ligado a um sistema de aquisição. Nos casos de pesquisa, os sistemas automáticos de controle são

reduzidos para permitir maior flexibilidade de variação de parâmetros durante os ensaios.

Estes ensaios servem para mostrar o comportamento do motor em funcionamento e apresentar o desempenho do motor, sendo medidos a rotação, o torque, a potência e o consumo de combustível do motor. Através dos ensaios dinamométricos, pode-se dizer, comparativamente, as qualidades e limitações de um motor de combustão interna e verificar algum problema na calibração (STONE, 1993).

#### **1.2.5.1. Incertezas de medição aplicada a ensaios dinamométricos**

Para a maior confiança dos resultados de um ensaio dinamométrico, deve-se fazer uma análise das incertezas que podem ter influenciado nos resultados, fazendo com que a comparação dos parâmetros apresente dados que tenha significado.

Formalmente, define-se incerteza como: parâmetro associado com o resultado de uma medição que caracteriza a dispersão de valores que podem razoavelmente ser atribuído ao mensurando (GONÇALVES JR., 2001).

A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados, com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações (INMETRO, 1997).

A incerteza expandida de uma medição é o parâmetro associado com a dúvida presente no resultado de medição e que delimita o nível de confiança a um padrão estabelecido, normalmente em 95%.

#### **1.2.5.2. Incerteza combinada**

Para o cálculo de incerteza, devem-se combinar as incertezas associadas a cada parte do processo de medição, quando se trata de medições diretas, ou seja, aquelas cuja

indicação resulta naturalmente da aplicação do sistema de medição sobre o mensurando. A incerteza combinada pode ser obtida através da equação 1.30:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}, \quad (1.30)$$

na qual  $u_c$  é a incerteza combinada e  $u_1, u_2, \dots, u_p$  representam as incertezas padrão de cada uma das “ $p$ ” fontes de incerteza.

### 1.2.5.3. Incerteza de medições indiretas independentes

A medição de uma grandeza indireta envolve a determinação do valor associado ao mensurando a partir da combinação de duas ou mais grandezas por meio de expressões matemáticas. Para grandezas que não apresentam dependência estatística entre si, ou seja, independentes, usa-se a equação geral (1.31):

$$u^2(G) = \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot u(x_1) \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot u(x_2) \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot u(x_n) \right)^2, \quad (1.31)$$

na qual  $u(G)$  representa a incerteza padrão associada à grandeza dependente  $G$  e  $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n)$  são as incertezas associadas às grandezas de entrada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (GONÇALVES JR, 1997).

### 1.2.6. Considerações finais

Este trabalho tem como objetivo a comparação do desempenho de um motor flexível funcionando com gasolina, álcool etílico e GMV com a razão de compressão original do motor, além de razões mais altas, mais apropriadas para o álcool etílico e para o GMV de 12,5:1 e 15:1. Essa comparação é feita com base nos resultados obtidos experimentalmente, após a calibração da UCE para cada combustível em cada diferente razão de compressão. Os mapas gerados nessas calibrações também são comparados, revelando o comportamento de cada combustível para cada configuração do motor. Os objetivos e a relevância do trabalho são apresentados a seguir.



## 2 - OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

Os objetivos deste trabalho são:

- Analisar o comportamento de um motor flexível multicomcombustível funcionando com a gasolina, o álcool e o GMV mediante a elevação da razão volumétrica de compressão de um motor de combustão interna, estudando os ganhos e perdas obtidos no desempenho de um motor multicomcombustível. A elevação de taxa de compressão, como já é visto na literatura, tende a elevar o rendimento térmico do motor. Entretanto, cada combustível, tendo as suas particularidades, tende a reagir de maneira diferente, apresentando um desempenho superior, ou reduzindo o seu desempenho devido à presença de detonação, ou mesmo por necessitar de uma mistura mais rica devido ao aumento excessivo da temperatura da descarga.
- Permitir a inclusão do GMV como uma alternativa de combustível no motor multicomcombustível através da instalação de um sistema de injeção de GMV em paralelo com o sistema convencional de injeção de combustível líquido, utilizando a mesma UCE para os combustíveis líquidos sem a necessidade de adaptação da calibração da gasolina ou do álcool.
- Desenvolver uma metodologia de calibração para os três combustíveis em diferentes razões de compressão, utilizando uma central eletrônica programável (MoTeC M4) e comparar este resultado com a calibração do motor utilizando a central eletrônica original (IAW 4AF.FF) com a razão de compressão de 11:1, de forma a quantificar possíveis alterações do desempenho do motor com esta razão de compressão

Este trabalho mostra, além da comparação das curvas de desempenho, a análise da calibração do sistema de gerenciamento eletrônico do motor para cada combustível e para cada taxa de compressão, apresentando os mapas de tempo de injeção de combustível e os mapas de avanço de ignição.

Através desta análise, será possível verificar o comportamento dos combustíveis em um motor multicomcombustível que trabalha com um taxa de compressão intermediária entre a da gasolina e a do álcool. Poder-se-á verificar também até que ponto a elevação da taxa

de compressão pode contribuir para o melhor aproveitamento de cada combustível, sabendo que o álcool e o GMV têm maior resistência à detonação.

Com esse trabalho, será possível conhecer os mapas de desempenho, ou seja, torque, potência e consumo específico do motor, e os mapas de calibração, ou seja, mapas de tempo de injeção de combustível e avanço de ignição, para as várias razões de compressão com os diferentes combustíveis.

Essa pesquisa permite obter, através de ensaios dinamométricos, o desempenho do motor multicomcombustível com gasolina, álcool etílico e GMV com a UCE programável MoTeC M4 para servirem de parâmetros de referência no desenvolvimento do motor flexível sobrealimentado com um turbocompressor. Com essa análise, será possível otimizar o motor multicomcombustível através do controle do turbocompressor com a UCE programável MoTeC, visando o melhor aproveitamento da elevação de pressão no interior do cilindro.

### 3 - METODOLOGIA

A metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho envolve basicamente as seguintes etapas:

#### 3.1. Definição dos combustíveis utilizados

Este trabalho faz parte do desenvolvimento de um novo conceito de motores multicomcombustível. A escolha dos combustíveis envolveu a disponibilidade de motores para estes combustíveis e a facilidade de aquisição dos mesmos. Os combustíveis líquidos mais usados no Brasil e já utilizados em motores de combustão interna flexíveis são a gasolina e o álcool etílico, que operam em faixas de razão de compressão próximas.

O gás natural aparece em terceiro como combustível para veículos de passeio no Brasil. O sistema de alimentação usado no Brasil para o GMV não é ainda totalmente gerenciado eletronicamente, sendo a mistura formada no coletor de admissão através de um misturador do tipo venturi. Por esse motivo, foi necessário importar da Itália um sistema multiponto totalmente eletrônico, da marca BRC modelo SEQUENT, o qual foi adaptado ao motor sem muitas complicações. Dessa forma, foi pré-estabelecido que os testes seriam realizados com gasolina, álcool etílico e GMV. A gasolina e o álcool etílico foram fornecidos pela FIAT do Brasil e o GMV para os testes foi cedido pela IGÁS em um suporte móvel contendo 6 cilindros, com capacidade total de 132 m<sup>3</sup>.

#### 3.2. Seleção do motor

Como a análise experimental envolveria mais de um combustível em um mesmo motor, a escolha por um motor multicomcombustível, que funciona com gasolina, álcool etílico ou qualquer mistura entre eles, foi imediata devido ao fato de o motor já estar totalmente preparado para usar os combustíveis líquidos selecionados na primeira etapa. A primeira parte dos testes envolve a obtenção das curvas de desempenho com a UCE original tanto de gasolina quanto de álcool etílico. Dessa forma, o motor FIRE FLEX 1.3, 8V foi

escolhido para a execução de todos os testes deste trabalho. Da mesma forma, também foram fornecidos pela MAHLE quatro jogos de pistão, ou seja, 16 pistões, com maiores razões de compressão, sendo dois jogos para a razão de compressão de 12,5:1 e os outros dois para razão de compressão de 15:1.

### **3.3. Escolha da Unidade Central de Controle - UCE**

A escolha da UCE foi feita entre duas opções. A primeira era a central eletrônica de desenvolvimento IAW 1G7 cuja aplicação para o fim desta pesquisa era inadequado devido a limitações do software.

A segunda opção foi a UCE MoTeC M4, que permite controlar todos os parâmetros necessários para a realização de uma calibração completa, além de possibilitar a total configuração do software de acordo com o “hardware”. Esse é um sistema de controle com alto grau de tecnologia, facilidade de uso e de visualização amigável, além da ótima qualidade das informações de ajuda ao usuário. O software de calibração da central pode ser facilmente obtido no sítio da empresa na Internet. Apresenta também a possibilidade de controlar o aumento da pressão da admissão realizado por um turbocompressor, o que representa um fator fundamental para a escolha deste sistema, já que a parte subsequente deste projeto a ser desenvolvido visa otimizar este motor através da aplicação de um turbocompressor. As principais características são apresentadas a seguir (MOTEC, 2005):

- Microprocessador de 32 Bit e 33 MHz;
- Padrão IPC-S-815-A Classe 3 Alta confiabilidade;
- Software de controle da UCE em memória tipo FLASH;
- Pode ser utilizada em motores com até 12 cilindros;
- Para motores de dois e 4 tempos;
- Rotação máxima 15.000 rpm;
- Resolução do tempo de injeção de 10  $\mu$ s;
- Resolução do ângulo de ignição 0,25 graus;
- Controle da pressão de sobrealimentação;
- Faixa de temperatura interna de trabalho de -10 a 85 °C;

- Temperatura ambiente de -10 to 70 °C;
- Tensão de operação de 6 a 22 V DC;
- Corrente máxima de operação de 0,4 A.

### **3.4. Escolha do sistema de injeção de GMV**

No Brasil há vários tipos de sistemas de GMV no mercado, porém nenhum deles permite o tipo de controle desejado para este trabalho, sendo então descartados. A UFMG adquiriu, então, um sistema italiano de GMV da marca BRC de 5° geração. Este sistema é multiponto e seqüencial, que permite o mesmo nível de controle de injeção de GMV conseguido para os combustíveis líquidos, pois os eletroinjetores são instalados paralelamente aos de gasolina, perto da válvula de admissão, não possuindo nenhum tipo de constrição tipo venturi para a injeção de gás. Este sistema já é integrado com o redutor de pressão da linha de gás e filtro de gás, além de uma central de controle que adapta o sistema de gasolina para o sistema de gás.

Pelo fato dessa central eletrônica do sistema a gás não ser programável, ou seja, não permitir uma nova configuração que permita a calibração do sistema para cada combustível, foi necessário substituí-la pela UCE MoTeC M4, a qual será utilizada em todos os testes para a calibração e ajuste do gerenciamento eletrônico para cada combustível.

### **3.5. Preparação do experimento**

#### **3.5.1. Preparação do motor em bancada e testes preliminares**

Antes de montar o motor no dinamômetro, ele foi preparado e revisado em uma bancada para testes de funcionamento com gasolina e álcool etílico e dos componentes eletrônicos. Primeiramente, construiu-se uma bancada para a fixação do motor. Em seguida, o motor foi colocado sobre a bancada para o início da instalação do chicote para interligação dos componentes eletrônicos e sensores com a UCE IAW 1G7. O computador, com o software de controle da calibração CAT, que controla UCE IAW 1G7, também foi acoplado ao sistema para o início dos testes, como mostra a figura 3.1.



Figura 3.1: Motor na bancada para testes com a UCE IAW1G7 e o software CAT.

A primeira calibração usada para o motor foi a padrão para a gasolina venezuelana com algumas poucas modificações nos mapas de injeção de combustível e avanço de ignição. Com a ajuda da sonda lambda linear, foi possível fazer um ajuste preliminar para marcha lenta, preparando-o para ser ligado em um dinamômetro. O mesmo procedimento foi então repetido para o álcool etílico.

Depois destes testes, o motor se encontrava pronto para ser levado ao dinamômetro para fase de testes. Porém, como não foi mantida a UCE IAW 1G7, o procedimento inicial de calibração necessitaria ser feito novamente no dinamômetro.

### **3.5.2. Alinhamento do motor no dinamômetro**

O motor foi colocado na bancada dinamométrica e alinhado visando o paralelismo e a concentricidade do motor com o dinamômetro. A tolerância usada para os desalinhamentos do paralelismo e concentricidade do motor em relação ao dinamômetro para os dois parâmetros foi de 1,8 mm.

### **3.5.3. Preparação do motor no dinamômetro para os primeiros testes**

Depois de colocado o motor na bancada dinamométrica, foram realizadas a instalação e montagem de todos os componentes. Primeiramente, foi definido o layout do sistema

dentro da sala, pois além da UCE e todos os seus componentes, posteriormente o sistema de alimentação de gás deveria ser inserido.

A primeira fase dos testes envolveu a obtenção das curvas de desempenho do motor com a UCE original para gasolina e álcool etílico. Com isso, o chicote foi alterado para a instalação dessa UCE juntamente com todos os dispositivos necessários.

O sistema de refrigeração do motor foi ligado a uma caixa de controle de temperatura da água que é, por sua vez, ligado a uma torre externa de refrigeração, para manter a água de entrada sempre na temperatura desejada.

O sistema de bombeamento de combustível foi conectado a flauta que contém os eletroinjetores de combustível para alimentação do motor.

O sistema de descarga do motor foi ligado ao sistema de exaustão da sala dinamométrica, que expelle os gases resultantes da queima para fora da sala.

Por fim, a alavanca que controla a abertura da borboleta na mesa de controle foi conectada com a borboleta através de um cabo.

#### **3.5.4. Preparação da instrumentação**

A instrumentação necessária para o funcionamento da UCE IAW.4AF.FF utilizada na primeira parte do trabalho para a aquisição dos dados do motor foi instalada com a configuração original do motor. Para o funcionamento, essa central precisa do sensor de rotação, instalado na polia do virabrequim, do sensor de temperatura do ar no coletor, do sensor de pressão do ar no coletor, do sensor de temperatura da água do motor, instalado na saída de circulação de água, do sensor de posição da borboleta e da sonda lambda, instalada no catalisador, na saída do coletor de descarga.

A instrumentação necessária para o funcionamento da MoTeC M4 foi instalada no motor de acordo com o esquema apresentado na figura 3.2. Essa central usa os mesmos sensores descritos no parágrafo anterior e o posicionamento deles foi mantido. Porém, além desses sensores, o sensor de sincronismo é de uso obrigatório para o

funcionamento do sistema e foi instalado na polia do eixo comando de válvulas. Esse sensor, como o sensor de rotação, é do tipo magnético.

Como é mostrado na figura 3.2, as entradas REF e SYNC foram utilizadas para os sensores de rotação e sincronismo do motor, respectivamente. O sensor de posição da válvula borboleta foi ligado à entrada TP e o sensor pressão no coletor de admissão à entrada MAP. Para a leitura das temperaturas do ar no coletor de admissão e do motor, ligaram-se os sensores nas entradas ET e AT, respectivamente. A entrada LAMBDA foi utilizada para conectar a sonda lambda na UCE para se fazer o controle do fator lambda em malha fechada. As saídas INJETOR 1 a 4 foram ligadas para controle dos quatro injetores de combustível líquido e dos quatro injetores GMV. Os injetores de GMV foram instalados em paralelo aos de combustível líquido. Não foram usadas as saídas INJETOR 5 a INJETOR 8, pois essas são utilizadas somente no caso de motores com mais de quatro cilindros. As saídas IGN1 e AUX2 foram utilizadas para o sistema de ignição do motor. As saídas AUX1, AUX3 e AUX4 não foram utilizadas. Todos os sensores foram alimentados com uma tensão de 5V e possuíam o sinal de saída que variava de 0 a 5V.

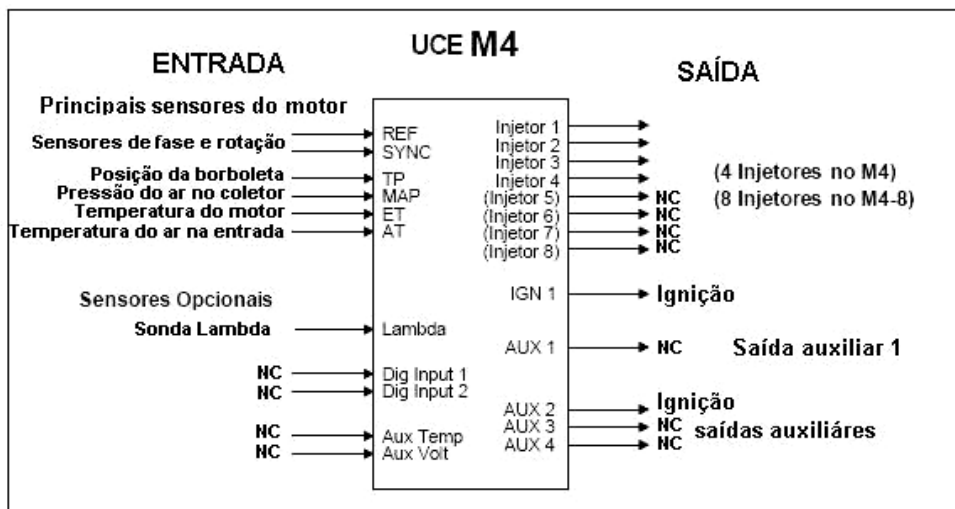


Figura 3.2: Esquema dos sensores necessários para a MoTeC M4

Além da instrumentação necessária para o funcionamento da central eletrônica, outros sensores foram acoplados ao sistema, pois havia a necessidade de acompanhamento de



outras grandezas durante o processo de calibração. Além da sonda lambda instalada no catalisador, outra sonda lambda do tipo linear foi instalada com o seu dispositivo de aquisição de dados para a leitura externa do valor do fator lambda durante a calibração. Também foi instalado no coletor de descarga um sensor de pressão para o acompanhamento da pressão no catalisador e um sensor de temperatura, imprescindível para a realização das calibrações, pois uma alta de temperatura poderia danificar as partes internas do motor e o promover o derretimento do catalisador. Uma célula de carga e um reservatório de combustível foram instalados junto à linha de combustível para o cálculo da vazão mássica de combustível líquido. Por fim, um sensor de corrente tipo hall foi instalado na saída do módulo de ignição do 1° e 4° cilindros para monitorar o sinal elétrico de alimentação do primário da bobina, necessário para a calibração dos tempos de permanência de alimentação. A leitura deste sinal foi feita por um osciloscópio conectado ao sensor

O sistema de detecção de detonação consistiu de um sensor de detonação, uma placa de som convencional de 16 bits instalada no computador, um software livre para realizar a análise FFT em tempo real do sinal do sensor de detonação SPECTROGRAM e um alto-falante de agudos para detecção auditiva de detonação pelo calibrador.

Para o cálculo da vazão mássica de gás injetado no motor, junto à linha de gás, se instalou um medidor de vazão volumétrica. Na saída desse medidor, foram instalados um sensor de temperatura e um sensor de pressão, para que a vazão volumétrica medida pudesse ser transformada em mássica através de uma aproximação com a equação do gás ideal.

Um termobarohigrômetro, que media a temperatura, a pressão e a umidade relativa do ar, foi instalado na saída do insuflamento, na entrada do filtro de ar, para a aquisição das grandezas necessárias ao cálculo das correções aplicadas ao torque e a potência.

### **3.5.5. Preparação do sistema de aquisição de dados**

O sistema de aquisição consistia de um computador com o software MULTIFUEL, desenvolvido em plataforma DELPHI, que fazia a leitura das medidas dos sinais de tensão enviados pelos sensores através de uma placa de aquisição da marca LINX, com

16 canais AD de 12 bits. Os sinais dos sensores do sistema de gerenciamento eletrônico eram lidos no sistema de aquisição de dados e controlados na tela de um computador.

Os sinais do sensor de pressão no coletor de descarga, sensores de temperatura e pressão do gás, do termobarohigrômetro e do medidor de vazão volumétrica foram instalados separadamente para o sistema de aquisição via computador. Além disso, os sinais de torque e rotação também eram adquiridos do sistema de medição digital do dinamômetro. Além dessas grandezas, também foram medidas as temperaturas da água e do óleo do motor e a temperatura dos gases de descarga utilizando a instrumentação do dinamômetro.

O sistema de aquisição, quando requisitado, gera um arquivo com todos os dados medidos permitindo a manipulação das informações para análise.

Para a obtenção das incertezas de medição das grandezas medidas, foram utilizadas várias metodologias, dependendo dos sistemas de medição utilizados. A temperatura da água do motor, a temperatura do óleo do motor, a temperatura do GMV, a pressão de MAP e a pressão do coletor de descarga foram obtidas com sistemas de medição calibrados com padrões convencionais. A vazão volumétrica, a temperatura do ar, pressão do ar, umidade relativa do ar e pressão do GMV foram medidas com sistemas de medição cujo certificado de calibração foi fornecido pelo fabricante. As incertezas dos demais sistemas de medição foram obtidas a partir de informações obtidas nos manuais dos fabricantes. A tabela 3.1 mostra os sistemas de medição usados, com as respectivas faixas de medição e a origem das incertezas de calibração.

### **3.5.6. Calibração do sistema de aquisição**

O sistema de aquisição de dados foi composto de um computador com uma placa de aquisição LINX CAD 16/32 de 12 bits e o software para a aquisição de dados MULTIFUEL. Essa placa de aquisição de dados recebia os sinais elétricos enviados pelos sensores acoplados ao sistema motor. Esses sinais variavam a sua intensidade de 0 a 5V. O software lia estes valores e os convertia, através das regressões lineares obtidas durante a calibração, em valores numéricos que representam as grandezas medidas nas unidades coerentes.

Para se executar a calibração dos sensores acoplados ao sistema de aquisição, foram utilizados outros instrumentos de medição com incertezas previamente determinadas e inferiores aos que seriam usados no sistema.

O procedimento de calibração foi o mesmo para todos os tipos de sensores, alterando somente os padrões que seriam utilizados de acordo com a grandeza a ser medida pelo sensor. O sensor mede o padrão e gera um sinal elétrico que é enviado para o software. O software faz a leitura desse sinal e o grava em um arquivo. Medem-se vários pontos diferentes para cada sensor. Com o valor do padrão e a média do sinal medido desses vários pontos, elabora-se uma regressão linear. A equação gerada por essa regressão é usada pelo software para a conversão dos sinais elétricos daquele sensor em uma grandeza física que representa o valor medido. Este procedimento foi executado para a calibração de todos os sensores de temperatura, pressão e da balança de combustível.

Os padrões utilizados para a calibração da balança de combustível foram massas padrão. Para a calibração da temperatura, foi utilizado um termômetro padrão que media a temperatura da água em um recipiente fechado com temperatura estabilizada juntamente com o sensor a ser calibrado. Os sensores de pressão foram calibrados com um manômetro de mercúrio e uma bomba de sucção, através do qual uma pressão era simulada e a sua leitura era realizada com dois sensores. O certificado de calibração do medidor de vazão volumétrica foi enviado juntamente com o equipamento, não havendo necessidade de calibração.

Os sensores que eram lidos paralelamente pelo sistema de aquisição e pela UCE tiveram a equação transformada para valores digitais, como é lido pela MoTeC M4. Essa transformação é feita pela equação (MoTeC, 2003):

$$A/D = 1024 \times \frac{V_{\text{sinal}}}{5}, \quad (3.1)$$

na qual A/D é o sinal digital lido pela MoTeC, 1024 é o valor de  $2^{10}$ , no qual o expoente 10 é o número de bits que a UCE usa,  $V_{\text{sinal}}$  é a tensão do sinal em Volts e 5 é o valor da tensão de alimentação do sensor em Volts.

Tabela 3.1: Sistemas de medição com as faixas de medição e a origem da incerteza

Sistema de Medição	Faixa de medição	Sensor	Origem da incerteza
Torque	0 a 600 N.m	Célula de carga	Calibrado com Massas padrão (0 a 30 kg)
Temperatura da água	293 K a 373 K	Termopar tipo K	Calibrado com PM500 e PM200
Temperatura do GMV	293 K a 373 K	Termopar tipo K	Calibrado com PM500 e PM200
Temperatura do óleo	273 K a 423 K	PT 100	Calibrado com PM500 e PM200
Pressão no coletor de admissão	0 a 125 kPa	BOSCH 0281 002510	Calibrado com Hoffmann
Pressão no catalisador	0 a 100 kPa	MPX 5100A	Calibrado com Hoffman
Massa de combustível	0 a 2 kg	Célula de carga	Calibrado com Massas padrão (100, 200, 500 e 1000 kg)
Vazão volumétrica de GMV	0,6 a 25 m <sup>3</sup> /h	INSTROMET B.V. IRM-3-G16-40-ANSI 125/150	Do fabricante
Pressão do GMV	0 a 700 kPa	MSP300-100P-2N	Do fabricante
Temperatura do ar	273 a 423 K	LM35	Do fabricante
Pressão do ar	15 a 115 kPa	MPX 5100A	Do fabricante
Umidade relativa	0 a 100%	HH3605	Do fabricante
Rotação	0 a 10000 rpm	Indutivo	Do manual do fabricante
Fator Lambda	0,6 a 1,67	ETAS LA2	Do manual do fabricante

### 3.6. Realização dos testes

Depois de concluída a etapa de preparação do motor no dinamômetro, foi iniciada a realização dos testes.

Os testes foram realizados em quatro fases distintas como mostra a figura 3.3. A primeira fase foi feita no motor com a razão de compressão de 11:1 e com central original. Os combustíveis usados nessa fase foram a gasolina e o álcool etílico. A partir da segunda fase, a UCE usada foi a MoTeC M4. Na segunda fase, a razão de compressão foi mantida em 11:1 e os combustíveis usados foram a gasolina, o álcool etílico e o GMV. Na fase seguinte, a razão foi elevada para 12,5:1 através da troca do

jogo de pistões. Na última fase, a razão foi elevada para 15:1 trocando-se novamente jogo de pistões.

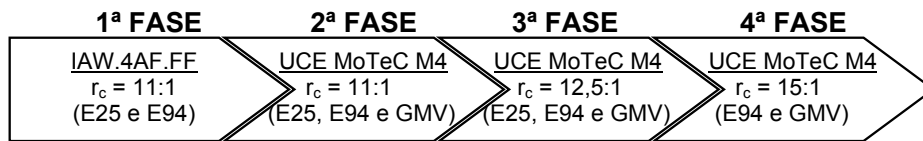


Figura 3.3: As quatro fases de teste

### 3.6.1. 1ª FASE: Testes com UCE original.

A primeira fase dos testes foi feita com a UCE original. Inicialmente, o motor foi amaciado seguindo a norma 7-A6000 (FIAT-GM POWERTRAIN). Como a central original do motor multicomcombustível é calibrada para a gasolina e o álcool etílico, esta fase consistiu somente na aquisição das curvas de desempenho para estes combustíveis. Através do sistema de aquisição, as curvas de torque, consumo e fator lambda do motor foram obtidas para plena carga, 71,5%, 43,5% e 25% de abertura da válvula borboleta. Ao mesmo tempo eram adquiridos os valores dos demais sensores ligados ao sistema de aquisição, tais como a temperatura e pressão atmosféricas, a umidade relativa do ar, a temperatura da água do motor e as pressões no coletor de admissão e do coletor de descarga e foram anotadas a temperatura do coletor de descarga e a temperatura do óleo. Estas curvas foram obtidas com o objetivo de servirem de base para as calibrações da MoTeC M4, além de servirem de padrão comparativo para a verificação do resultado das calibrações. Através dessa curvas, foi possível verificar o comportamento da sonda lambda, ou seja, quando ela operava em malha fechada ou não.

### 3.6.2. 2ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 11:1$

Nessa fase, a UCE foi trocada pela MoTeC M4 antes do início dos teste, sendo que, para o seu perfeito funcionamento, a central precisou ser inicialmente configurada. Como esta central não possuía a calibração para os combustíveis que seriam usados, para cada combustível foi necessário fazer a calibração específica antes do levantamento das curvas. A configuração inicial e a metodologia de calibração usada em todas as partes do teste são apresentadas a seguir, antes da descrição dos testes da 2ª

fase. Essa metodologia de calibração é baseada na metodologia elaborada por Baêta (2004b).

### 3.6.2.1. Configuração da UCE MoTeC M4

Antes de se iniciar a calibração foi feita a configuração dos parâmetros do motor, tais como o número de cilindros, o tipo de injeção, dentre outros. Para este motor foi usada a configuração da tela Main Setup, que é tela de configuração principal do software, mostrada na tabela 3.2:

Tabela 3.2: Configuração Principal da MoTeC M4

<b>Main Setup</b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Definição</b>
Injector Pulse width (IJPU)	-	Tempo máximo do pulso de injeção
Injector operation (IJOP)	1	Tipo de operação dos injetores
Injector battery comp (IJBC)	4 -1	Curva de compensação do tempo de alimentação dos injetores
Efficiency calc method (EFF)	2 1	Método de cálculo da eficiência (EFF) - Índice da tabela de combustível
Load calc method (LOAD)	2 1	Método de cálculo da carga (LOAD) - Índice da tabela de avanço de ignição
Load sites selection (LDS)	100	Seleciona a faixa da eficiência e da carga
Number of cylinders (CYLS)	4	Número de cilindros considerando o tipo de sincronismo.
Ref sensor type (RFSN)	2	Tipo de sensor de referência
Sync sensor type (SYSN)	2	Tipo do sensor de sincronismo
Ref / Sync mode (REF)	74	Relação da falha de dentes na polia/ciclo
Crank ref teeth (CR T)	60	Numero de dentes incluindo a falha
Crank index position (CRIP)	95°	Posição da falha na polia
Ignition type (IGN)	1	Disparo na descida
Number of coils (COIL)	2	Número de bobinas
Ignition dwell time (DELL)	-0.1	Tempo de alimentação da primário da bobina
Ignition delay time (DLY)	50 us	Atraso entre o comando e o tempo real de disparo.

O valor do IJPU para cada combustível deve ser verificado separadamente, pois cada combustível possui uma razão estequiométrica ar-combustível. O IJOP define o tipo de sistema de injeção. Para esse motor, tem-se um sistema seqüencial de injeção com quatro eletroinjetores.

A configuração do valor de IJBC depende do tipo de eletroinjeter utilizado. Para os eletroinjeteres dos combustíveis líquidos, foi usado o valor 4 referente ao tipo de eletroinjeter padrão de 16  $\Omega$ . Para os eletroinjeteres do sistema de GMV, foi atribuído o valor -1 que configura a necessidade de calibração da curva de compensação do tempo de alimentação dos eletroinjeteres, cujo procedimento será descrito posteriormente na seção Metodologia de calibração.

A configuração do método de cálculo de EFF e LOAD usada para as calibrações da gasolina e do álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 foi a de número 2. Esta configuração calcula estes dois parâmetros sendo:

$$EFF = LOAd = 100\% \times \frac{MAP}{BAP} \cdot \quad (3.2)$$

Devido à dificuldade de calibração dos mapas de avanço de ignição e mapas de tempo de injeção de combustível, e da necessidade do uso da sonda lambda em malha fechada, esta configuração foi alterada para 1, que atribuí a estes dois parâmetros os valor do percentual de abertura da válvula borboleta. A dificuldade da calibração dos mapas se dá devido a não linearidade da eficiência volumétrica em relação à abertura da válvula borboleta. A figura 3.4 mostra a porcentagem de abertura da válvula borboleta a partir da qual a eficiência volumétrica é máxima para cada rotação.

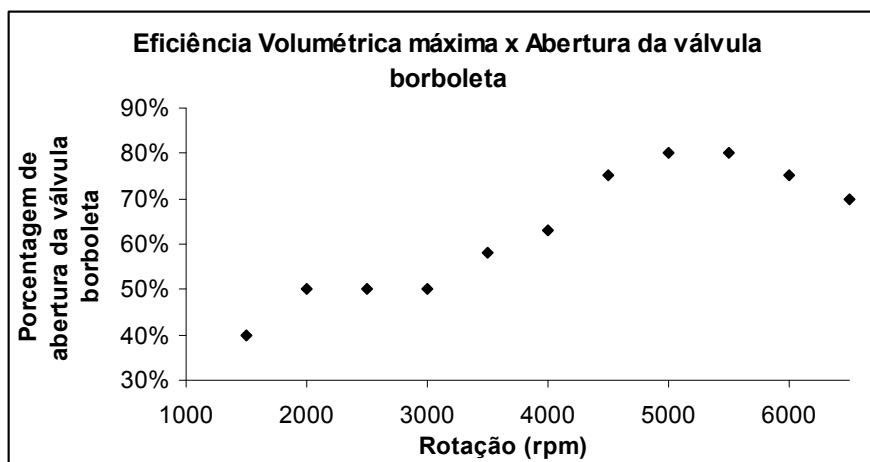


Figura 3.4: Gráfico de eficiência volumétrica máxima versus abertura da válvula borboleta

O parâmetro LDS foi configurado como 100 para que a variação de EFF e LOAD fosse de 0 a 100, variando de 10 em 10, para as duas configurações de EFF e LOAD.

O CYLS é o parâmetro que indica o número de cilindros do motor, sendo, portanto 4 cilindros.

O valor de número 2 para o RFNS e SYSN configura os sensores de rotação ou referência e de sincronismo como sensores magnéticos.

O valor do CRIP é usado para definir a posição da falha de referência em relação ao PMS do pistão 1. O seu procedimento de calibração será descrito posteriormente na seção Metodologia de calibração.

O IGN define o tipo de disparo para o acionamento da ignição que, neste caso, é na descida do sinal elétrico.

O parâmetro COIL indica o número de bobinas diretamente controladas pela UCE. O motor usado possui duas bobinas trabalhando no regime conhecido como centelha perdida, no qual cada bobina é responsável pela centelha de dois cilindros ao mesmo tempo.

O DELL é configurado como -0,1 indicando que o tempo de alimentação do primário da bobina possa ser calibrada, ao invés de usar uma onda quadrada padrão. O procedimento de calibração desse tempo será descrito posteriormente na seção Metodologia de calibração.

Depois de acertada a tabela de configuração principal, o próximo passo foi a definição da ordem de funcionamento dos cilindros, chamado no software da UCE de FIRING ORDER. Nesse caso foi mantida a ordem do motor original 1-3-4-2. Também foi feita a configuração dos sensores usados na UCE, mostrada na Tabela 3.3.



Tabela 3.3: Configuração dos sensores usados na MoTeC M4

<b>Sensor setup</b>	<b>Valor</b>	<b>Tipo</b>
Throttle position (TP)	3	Válvula borboleta linear
Manifold Pressure (MAP)	-1	Pressão no coletor de admissão - Definido pelo usuário
Air Temp (AT)	1	Temperatura do ar na admissão – sensor NTC (Coeficiente de temperatura negativo)
Engine Temp (ET)	1	Temperatura do líquido de arrefecimento – sensor NTC
Aux Temp (Aux T)	0	Desabilitado
Aux Voltage	-4	Strain gage
Lambda Sensor (LA)	0	Desabilitada
	1	Narrow band

O valor de LA deve ser alterado de 0 para 1 para ser colocada em funcionamento. Também, para o correto funcionamento da sonda lambda, na tela “Parameters”, dentro da opção “Lambda Control” do menu “Misc Functions”, deve-se alterar os valores “Rich Trim Limit”, limite de enriquecimento, e “Lean Trim Limit”, limite de empobrecimento da mistura, para 10% e -10% respectivamente, para que o alcance do controle da sonda seja maior e suficiente. Todas as outras opções são configuradas para valores típicos recomendados.

Deve-se estipular os parâmetros de controle da rotação. O “RPM Limit” é o limite de rotação do motor. O “RPM Ctrl Range” é a tolerância acima do limite de rotação antes que a UCE interfira no funcionamento do motor. O “RPM Limit type” define como será feito o corte de combustível e de ignição. Por último, o “RPM Limit Diag” indica em quantas rotações a UCE diagnosticará erro. A configuração desses parâmetros pode ser visto na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Configuração do controle da rotação

<b>RPM Limit</b>	<b>Valor</b>	<b>Tipo</b>
RPM limit	7000	Limite de rotação
RPM Limit Ctrl Range	200	Tolerância de 200 rpm acima do limite
RPM Limite Type	2	Corte da ignição seguido de corte do combustível 100 rpm acima do Ctrl Range
RPM Limit Diag	500	Rotação acima do limite para o diagnóstico de erro

Por fim, configura-se a leitura do sinal do sensor de abertura da válvula de borboleta mostrando a UCE a sua posição totalmente fechada e totalmente aberta. Como o funcionamento do sensor é linear, a calibração da posição da válvula borboleta é feita automaticamente pela UCE.

### 3.6.2.2. Metodologia de calibração

A calibração para cada combustível é feita através de etapas que envolvem a calibração de vários parâmetros. Esta metodologia foi usada nas fases que envolveram a calibração da UCE. Nesta parte do trabalho, serão usados os nomes dados para os parâmetros pela UCE MoTeC M4. As tabelas do software a serem calibradas apresentam valores que variam a rotação de 500 em 500 rpm, variam a tensão de entrada de 1 em 1 V e a carga (EFF ou LOAD) de 10 em 10% e as calibrações foram feitas de 1500 rpm a 6500 rpm. É importante lembrar que a sonda lambda só deve ser habilitada após a etapa 7, para não interferir em nenhuma calibração anterior. Estas etapas são apresentadas no fluxograma da figura 3.4.

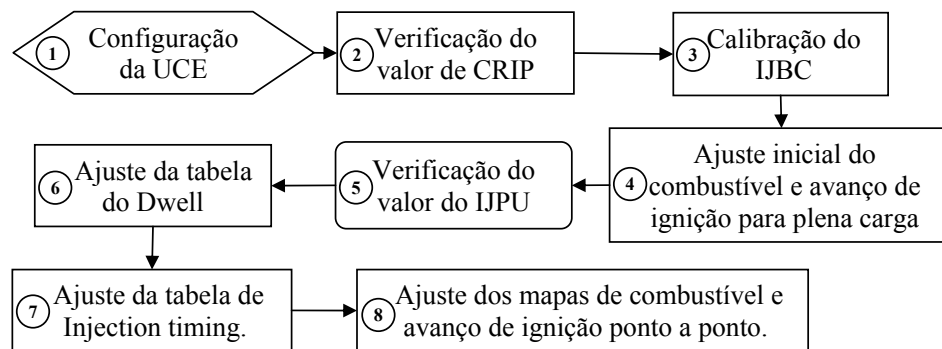


Figura 3.5: etapas da calibração da UCE

Após a configuração inicial da UCE, deve-se estimar, antes de ligar o motor, o valor do IJPU e da porcentagem de IJPU (%IJPU), que indica a quantidade de combustível injetada, e os valores do Dwell time e avanço de ignição. É necessário evitar que o motor funcione com mistura pobre, excesso de avanço de ignição ou Dwell time insuficiente para se iniciar a combustão da mistura dentro do cilindro, para que não haja nenhum dano no motor. Por esse fato são recomendados misturas ricas e avanços

reduzidos para dar a partida no motor. Foi usada para se ligar o motor pela primeira vez uma calibração padrão do software da UCE.

A verificação do valor do CRIP, ou posição da falha na polia, é feita primeiramente. O procedimento consiste em verificar se o avanço de ignição, configurado para uma rotação e uma carga predeterminada, coincide com a que está no motor. Com o uso de um goniômetro e uma lâmpada estroboscópica conectada ao cabo da vela do 1º cilindro, pode-se verificar com quantos graus de avanço antes do PMI está o motor.

A calibração da curva de IJBC é feita configurando-se um ponto, com uma tensão elétrica de alimentação do sistema constante obtida através de uma fonte de tensão ajustável, com uma rotação e uma posição de borboleta estável na tabela e pré-determinando o valor do fator lambda igual a um. Na tabela de ajuste do IJBC, varia-se a tensão de alimentação de um em um Volt e faz-se a alteração do IJBC, em  $\mu\text{s}$ , se o valor do fator lambda se alterar com a variação da tensão. Isso é feito para que o valor do fator lambda não sofra alteração depois de calibrada a tabela de combustível, no caso de ocorrer variação da tensão da bateria.

Em seguida, faz-se o ajuste inicial da primeira linha das tabelas de combustível e avanço de ignição. Primeiro, coloca-se o motor em uma rotação a plena carga e de tal forma que coincida com dois pontos na tabela, evitando pontos intermediários nos quais o software tivesse que fazer alguma interpolação. O procedimento para esta calibração, buscando-se obter o melhor torque, é feito configurando-se o valor de %IJPU na tabela tempo e injeção de combustível para o valor do fator lambda desejado. Depois, deve-se ir até a tabela de avanço de ignição e buscar o melhor avanço, ou alcançando o MBT, ou ficando 0,5 grau abaixo do LDI para que não haja detonação, o que depende do combustível utilizado, da razão de compressão, da rotação e da carga. Retorna-se, então, para a tabela de tempo de injeção de combustível para que seja feito o ajuste fino no tempo de injeção, pois a alteração de avanço pode causar leve alteração no valor do fator lambda. Por fim, faz-se o ajuste fino no avanço de ignição, novamente buscando o MBT, ou o LDI menos 0,5°.

A tabela de tempo de injeção de combustível é preenchida com o percentual do tempo máximo do pulso de injeção, %IJPU, e deve-se verificar se o valor do IJPU está na faixa

recomendada pelo software. Se o percentual máximo de trabalho na plena carga, onde a eficiência volumétrica é maior, não ultrapassar 60%, o valor do IJPU deve ser reduzido para que se mantenha a acurácia na calibração do combustível. Como se deve manter uma margem para que haja controle da UCE quando a sonda opera em malha fechada, este valor máximo também não pode ultrapassar 80%. Para cada combustível esse valor de IJPU deve ser verificado e recalibrado, se necessário.

Com a ajuda de um sensor de corrente e um osciloscópio para ler o sinal de alimentação do primário da bobina, a calibração do “Dwell time”, ou tempo de alimentação do primário da bobina, pode ser feita. O sinal do “Dwell time” é mostrado na figura 3.5. A corrente deve atingir o valor de pico para garantir que a queima ocorra satisfatoriamente. Assim esse tempo de alimentação deve ser suficiente para atingir esse pico. Se o tempo for insuficiente, percebe-se o funcionamento do motor com falhas, instável e com elevação acentuada da EGT. Por isso, é aconselhável usar valores com uma folga de 0,3 ms, não muito próximos ao mínimo, pois qualquer região de instabilidade entre dois pontos calibrados pode causar falha na ignição. Porém, se o tempo for elevado, a energia acumulada pode superaquecer a bobina e influenciar negativamente na próxima queima, principalmente em altas rotações.

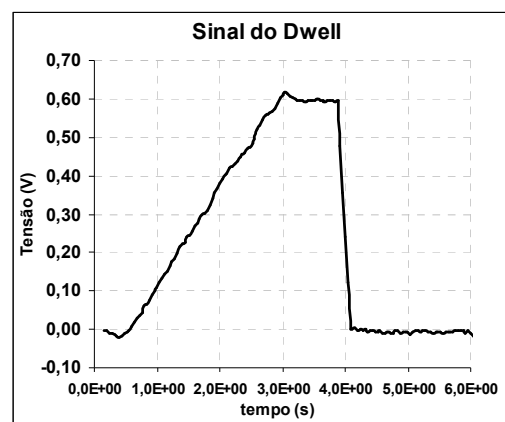


Figura 3.6: Sinal do “Dwell time” obtido em um osciloscópio

A calibração do injection timing, ou ângulo de injeção, pode ser feita por dois métodos, sendo um para combustível líquido e outro para combustível gasoso. O procedimento para combustível líquido consiste em medir o SFC para cada valor de “injection timing”

e compará-los entre si. O menor consumo específico mostra o melhor ângulo de injeção, no qual o combustível é admitido com maior eficiência no cilindro. Para o combustível gasoso, mais suscetível à variação do ângulo de injeção, por apresentar uma densidade bem inferior, esta calibração pode ser feita observando-se o valor do fator lambda. Quanto menor for o valor do fator lambda, ou seja, quanto mais rica for a mistura, maior é a quantidade de gás que está sendo entregue ao cilindro para queima e conseqüentemente, melhor é o ângulo de injeção.

Para o ajuste final das tabelas de tempo de injeção de combustível e avanço de ignição, o procedimento é o mesmo usado para o ajuste inicial. Deve-se lembrar que os pontos próximos ao ponto calibrado influenciam nesse ponto, então, quando se faz a calibração de um ponto é aconselhável que se altere os valores laterais para valores razoáveis e coerentes para que qualquer alteração posterior nesses pontos laterais não cause erros grosseiros na calibração.

Durante a calibração do tempo de injeção de combustível, o primeiro fator que deve ser observado é a EGT, ou temperatura dos gases de descarga. Se esta temperatura estiver muito elevada, superior à suportada pelo catalisador e pelo sistema de descarga, a mistura deve ser enriquecida para evitar danos ao motor. Outros fatores que determinam o valor do fator lambda são as emissões, o consumo de combustível e o desempenho do motor.

Durante a calibração da tabela de tempo de injeção de combustível, a sonda lambda é automaticamente desabilitada, mesmo estando instalada e configurada para atuar naquele ponto onde se deseja um fator lambda estequiométrico. O seu funcionamento volta ao normal quando se retorna à tabela de avanço de ignição. Quando o valor do fator lambda requerido for estequiométrico, a sonda pode ser usada normalmente durante a calibração do avanço de ignição, pois ela ajuda a manter a estabilidade da mistura. Porém, deve-se ter o cuidado de desabilitá-la quando a calibração envolver situações extremas para que não haja problema dela alterar a mistura acidentalmente e elevar a EGT.

É recomendado que a calibração seja feita por coluna ou por linha, mas deve-se manter um padrão. Neste trabalho, a calibração das tabelas de combustível e de avanço de ignição foi feita por coluna, exceto a linha de plena carga no ajuste inicial.

### **3.6.2.3. Calibração do motor**

As calibrações do motor funcionando com gasolina, álcool etílico e GMV foram executadas conforme a metodologia previamente descrita na seção 3.6.2.2.

Com o motor funcionando com gasolina e álcool etílico, buscou-se repetir os mesmos valores do fator lambda obtidos na 1ª fase. Nessas calibrações, o valor de EFF e LOAD foi calculado pela equação 3.2. Também não havia a sonda lambda instalada no sistema do motor.

Com o motor funcionando com GMV, foi atribuído fator lambda estequiométrico, igual a 1,00, para toda tabela de combustível devido ao fato do GMV não apresentar nenhuma vantagem significativa para mistura rica, nem redução da EGT nem elevação do torque. Nessa calibração, a configuração de EFF e LOAD foi alterada para percentual de abertura da válvula borboleta devido à maior facilidade de calibração em relação ao método anterior por causa da não-linearidade da eficiência volumétrica do motor em relação à porcentagem de abertura da válvula borboleta. A partir dessa etapa, os parâmetros EFF e LOAD foram mantidos para o percentual de abertura da válvula borboleta.

O GMV, devido à grande variação de pressão interna dos cilindros, de 50 kPa a 250 kPa, apresentava grande variação no valor do fator lambda. Visto a necessidade de se estabilizar o valor do fator lambda, uma sonda lambda foi instalada e habilitada para o funcionamento em malha fechada, controlando este valor em 1,00, com pequenas e imperceptíveis variações. A partir dessa etapa, o uso da sonda lambda foi mantido com todos os combustíveis em todos os pontos nos quais se usou o fator lambda igual a 1,00.

Através do sistema de aquisição, as curvas de torque, consumo e fator lambda do motor funcionando com os três combustíveis foram obtidas para plena carga, 71,5%, 43,5%, 25% e 14% de abertura da válvula borboleta. Ao mesmo tempo eram adquiridos os

valores dos demais sensores ligados ao sistema de aquisição, tais como a temperatura e pressão atmosféricas, a umidade relativa do ar, a temperatura da água do motor e as pressões no coletor de admissão e do coletor de descarga e foram anotadas a temperatura do coletor de descarga e a temperatura do óleo.

### 3.6.3. 3ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 12,5:1$

Nesta fase, a razão de compressão do motor multicomcombustível foi elevada para 12,5:1 através da troca dos pistões. Com esta razão de compressão, era previsto a redução do avanço de ignição e elevação da EGT, o que exigiu maior atenção com a EGT por parte dos calibradores.

#### 3.6.3.1. Troca do jogo de pistões

Para se fazer a elevação da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1, o jogo de pistões originais foi substituído pelo jogo especial para a razão de compressão de 12,5:1 mostrado na figura 3.7. Este jogo de pistões possuía uma adição de metal no topo para que o  $V_c$ , ou volume da câmara de combustão, fosse reduzido, elevando assim a razão de compressão. Estes pistões também eram cobertos por uma proteção contra danos ocasionados por detonação no topo do pistão, que tendem a aparecer com mais frequência com razões mais elevadas e possuem uma proteção lateral de Teflon.



Figura 3.7: Pistão para a razão de compressão de 12,5:1 (a) fora do motor e (b) instalado

Para se fazer a troca dos pistões, o cabeçote do motor e o cárter foram retirados. Então os pistões de 11:1, juntamente com os pinos e bielas, foram retirados. Em seus lugares,

foram colocados os pistões de 12,5:1, já montados com os pinos e bielas. Porém, os casquilhos de biela que ficam entre as bielas e o eixo virabrequim foram mantidos.

### **3.6.3.2. Calibração do motor**

As calibrações do motor funcionando com gasolina, álcool etílico e GMV foram executadas conforme a metodologia previamente descrita na seção 3.6.2.2. Nesta fase, em todas as calibrações os parâmetros de cargas EFF e LOAD foram utilizados com sendo a porcentagem de abertura da válvula borboleta.

Com o motor funcionando com gasolina e álcool etílico, buscou-se repetir os mesmos valores do fator lambda obtidos na 1ª fase. Entretanto, em algumas cargas intermediárias não foi possível manter o fator lambda igual a 1,00 por causa da elevada EGT, sendo necessário o enriquecimento da mistura. Com o motor funcionando com GMV, foi atribuído fator lambda estequiométrico, igual a 1,00, para toda tabela de combustível.

Através do sistema de aquisição, as curvas de torque, consumo e fator lambda do motor funcionando com os três combustíveis foram obtidas para plena carga, 71,5%, 43,5%, 25 e 14% de abertura da válvula borboleta. Ao mesmo tempo eram adquiridos os valores dos demais sensores ligados ao sistema de aquisição, tais como a temperatura e pressão atmosféricas, a umidade relativa do ar, a temperatura da água do motor e as pressões no coletor de admissão e do coletor de descarga e foram anotadas a temperatura do coletor de descarga e a temperatura do óleo.

### **3.6.4. 4ª FASE: Testes com a UCE MoTeC M4 e $r_c = 15:1$**

Nesta fase, a razão de compressão do motor multicomcombustível foi elevada para 15:1 através da troca dos pistões. Com esta razão de compressão, o comportamento dos combustíveis era previsto como sendo de difícil calibração o que exigiu por parte dos calibradores maior atenção com a EGT. Não foram feitos testes com gasolina por que a razão de 15:1 é extremamente elevada para esse combustível, com o risco de se danificar o motor permanentemente.



### 3.6.4.1. Troca do jogo de pistões

Para se fazer a elevação da razão de compressão de 12,5:1 para 15:1, o jogo de pistões originais foi trocado para o jogo especial para a razão de compressão de 15:1 mostrado na figura 3.8. Este jogo de pistões, como o de 12,5:1, possui uma adição de metal no topo para que o  $V_c$  seja reduzido, elevando assim a razão de compressão, como mostrado na equação 1.15. Estes pistões também são cobertos por uma proteção contra danos ocasionados por detonação no topo do pistão, que tendem a aparecer com mais frequência com razões mais elevadas e possuem uma proteção lateral de Teflon.



Figura 3.8: Pistão para a razão de compressão de 15:1 (a) fora do motor e (b) instalado

Para se fazer a troca dos pistões, o cabeçote do motor e o cárter foram retirados. Então os pistões de 12,5:1, juntamente com os pinos e bielas, foram retirados. Em seus lugares, foram colocados os pistões de 15:1, já montados com os pinos e bielas. Porém, os casquilhos de biela foram mantidos.

### 3.6.4.2. Calibração do motor

As calibrações do motor funcionando com álcool etílico e GMV foram executadas conforme a metodologia previamente descrita na seção 3.6.2.2.

Com o motor funcionando com álcool etílico, buscou-se repetir os mesmos valores de lambda obtidos na 1ª fase. Com o motor funcionando com GMV, foi atribuído fator lambda estequiométrico, igual a 1,00, para toda tabela de combustível.

Através do sistema de aquisição, as curvas de torque, consumo e fator lambda do motor funcionando com o álcool etílico e o GMV foram obtidas para plena carga, 71,5%, 43,5%, 25% e 14% de abertura da válvula borboleta. Ao mesmo tempo eram adquiridos os valores dos demais sensores ligados ao sistema de aquisição, tais como a temperatura e pressão atmosféricas, a umidade relativa do ar, a temperatura da água do motor e as pressões no coletor de admissão e do coletor de descarga e foram anotadas a temperatura do coletor de descarga e a temperatura do óleo.

#### **3.6.4.3. Revisões do motor**

Durante as trocas dos jogos de pistão para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, foram feitas revisões no motor, verificando o estado de várias peças, a condição do óleo do motor, o assentamento das válvulas ou se havia algum tipo de dano nas camisas dos cilindros. Nas duas revisões foi constatado que as válvulas haviam perdido o assentamento, gerando a necessidade de retífica ou substituição das guias e sedes de válvula danificadas. Nos dois casos, o cabeçote foi retificado e revisado antes de montado para os testes.

Depois de realizados todos os testes com a razão de compressão de 15:1, o motor foi novamente desmontado para a revisão final, com o mesmo procedimento das outras revisões. Novamente foi detectada falta de assentamento das válvulas, gerando a necessidade de retífica ou substituição das guias e sedes de válvula danificadas. Também foram notados leves arranhões na camisa do cilindro e pequenos pontos de carbonização nas laterais e no topo dos pistões 2 e 4, porém sem efeito maior.

Esse desgaste ocorrido nas guias e sedes das válvulas é decorrente do uso de GMV em motores não preparados para este combustível. A combustão de combustíveis líquidos gera uma fuligem que, quando depositada sobre as válvulas e sedes e guias das válvulas, auxilia na lubrificação desses componentes, evitando desgastes e corrosão. Essa fuligem não é formada na combustão do GMV (ZAREH, 1998).

Após a realização dos reparos necessários, o motor foi novamente montado com os pistões de razão de compressão de 11:1 para dar início à etapa de testes com a adaptação de um turbo compressor que permita otimizar o motor multicomcombustível para cada

combustível através do controle de pressão no coletor de admissão. Nessa etapa, as curvas obtidas para as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1, obtidas no presente trabalho, servirão de referência na otimização do motor multicomcombustível para cada combustível. Os resultados obtidos desta etapa não são apresentados no presente trabalho e forma parte, junto com os resultados aqui apresentados, da tese do Engenheiro José Guilherme Coelho Baeta.

## 4 - RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados deste trabalho mostram o desempenho de um motor multicomcombustível com três razões de compressão funcionando com gasolina, álcool etílico e GMV. Estes resultados são apresentados através dos mapas de tempo de injeção de combustível e avanço de ignição obtidos durante a calibração da UCE para cada combustível e das curvas de torque corrigido, potência corrigida e SFC (consumo específico de combustível). Os mapas revelam o comportamento do motor em relação ao consumo de combustível e à detonação, podendo mostrar mais detalhes sobre o funcionamento do motor para uma determinada razão de compressão.

### 4.1. Mapas de tempo de injeção de combustível

O mapa de tempo de injeção de combustível é apresentado em um gráfico com três dimensões. As três dimensões são a rotação do motor, a EFF e a %IJPU. A rotação é a frequência de funcionamento do motor, a EFF é o parâmetro da carga que está sendo aplicada ao motor e a %IJPU é a porcentagem do tempo máximo de injeção de combustível que é relacionado à quantidade de combustível que é injetada no motor.

A quantidade de carga EFF que é aplicada ao motor foi configurada de duas maneiras distintas. Na primeira, apresentada nos gráficos das figuras 4.1 e 4.2, a carga é uma razão de MAP (pressão do ar no coletor de admissão) e BAP (Pressão atmosférica). Na segunda, ela é a porcentagem de abertura da válvula borboleta.

A quantidade de combustível injetada no motor é apresentada como %IJPU. O IJPU é o parâmetro configurado no início de cada calibração que fixa o tempo máximo de funcionamento do injetor por ciclo. Cada combustível tem um valor de IJPU devido ao fato de cada um possuir uma densidade e uma relação ar/combustível estequiométrica diferente. Este valor se altera para o tipo de combustível, porém se mantém independente da razão de compressão. A tabela 4.1 mostra os valores de IJPU de cada combustível.

Tabela 4.1: Valores de IJPU para os combustíveis utilizados no testes.

Valor de IJPU para os combustíveis utilizados			
Combustível	Gasolina	Álcool etílico	GMV
IJPU (ms)	15	20	10

Os gráficos normalmente apresentam a mesma faixa de valores de % IJPU. Isto acontece porque, como visto na metodologia, o valor máximo para o tempo de injeção de combustível em plena carga deve ser entre 60 e 80 %IJPU. Porém os tempos que eles indicam são diferentes, pois apesar de apresentarem valor em porcentagem aproximado, o valor de IJPU, que serve de base para o cálculo dos tempos de injeção, é diferente para cada combustível.

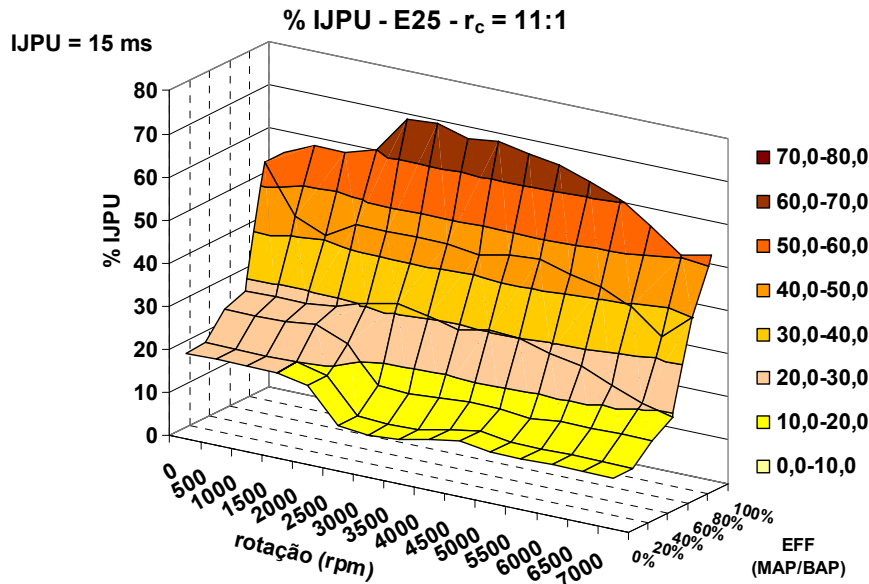


Figura 4.1: Mapa de tempo de injeção da gasolina com razão de compressão de 11:1.

O gráfico das figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os mapas dos tempos de injeção utilizados para a razão de compressão de 11:1. Nota-se, primeiramente, que o formato dos mapas são diferentes. Isto ocorre pela diferença de configuração do parâmetro EFF. Nos dois primeiro mapas (Figura 4.1 e 4.2), vê-se que abaixo de 100% de EFF acontece imediatamente uma queda brusca no valor de %IJPU. No mapa da figura 4.3 isso não acontece e os valores de %IJPU permanecem estáveis na região superior do mapa onde

a eficiência volumétrica é máxima. Isso ocorre porque a eficiência volumétrica do motor não se comporta linearmente em relação à porcentagem de abertura da válvula borboleta.

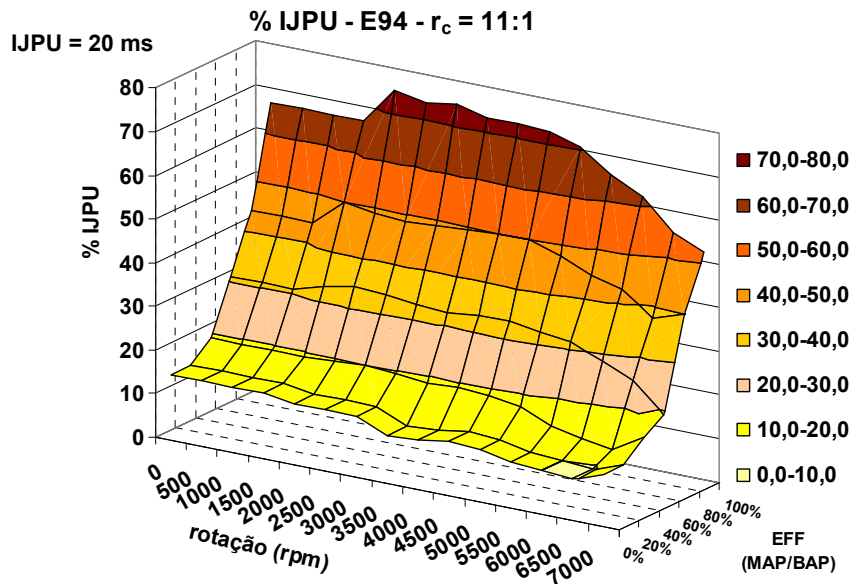


Figura 4.2: Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 11:1.

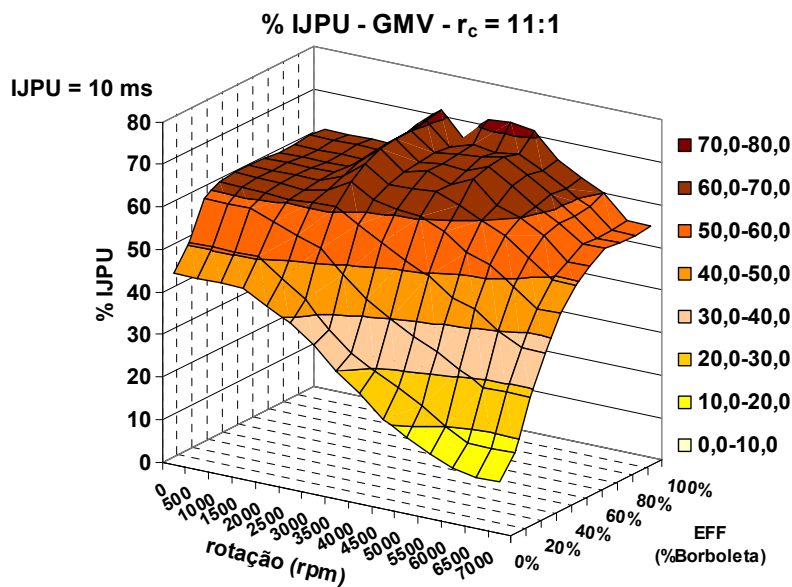


Figura 4.3: Mapa de tempo de injeção do GMV com razão de compressão de 11:1.

Os gráficos das figuras 4.4, 4.5 e 4.6 são os mapas tempo de injeção de combustível obtidos nas calibrações do motor com razão de compressão de 12,5:1. Os mapas de tempo de injeção de gasolina e álcool etílico são diferentes dos mapas com a razão de compressão de 11:1 em razão da diferença no EFF. Contudo, pode-se observar que a linha de plena carga para as duas razões de compressão tem o formato semelhante. Os mapas de tempo de injeção de GMV apresentam-se semelhantes um ao outro por terem sido calibrados com o mesmo método de cálculo para EFF.

A parte plana dos mapas que aparece na região superior, de plena carga até aproximadamente 80%, possui uma área projetada maior na gasolina em relação ao álcool etílico, chegando a cerca de 60%. Conforme os valores do fator lambda obtidos da central original, o motor trabalha com mistura rica de 100 a 80% de abertura da válvula borboleta, pois se busca o melhor desempenho do motor. Com 70% de abertura da válvula borboleta, o motor trabalha com mistura estequiométrica com rotações inferiores a 4000 rpm. Abaixo de 70% de abertura da borboleta, o fator lambda utilizado é o estequiométrico. Entretanto, durante a calibração da gasolina com a razão de compressão de 12,5:1, os valores de EGT (temperatura dos gases de descarga) para a faixa de 70 a 40% de abertura da válvula borboleta, com rotações superiores a 3500 rpm, foram excessivamente elevados, superiores a 910°C (1183 K), podendo danificar o motor e o catalisador. O avanço de ignição para a gasolina com essa razão de compressão ficou baixo, causando esse efeito de elevação da EGT. Como não se podia aumentar o avanço de ignição por causa de surgimento da detonação, o fator lambda foi diminuído com o objetivo de se reduzir esta temperatura. Este fenômeno não foi observado com o álcool etílico.

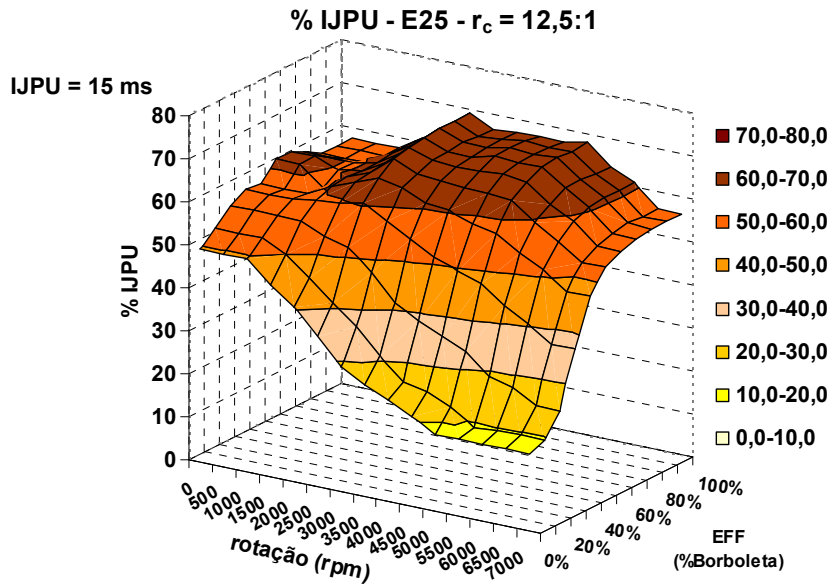


Figura 4.4: Mapa de tempo de injeção da gasolina com razão de compressão de 12,5:1.

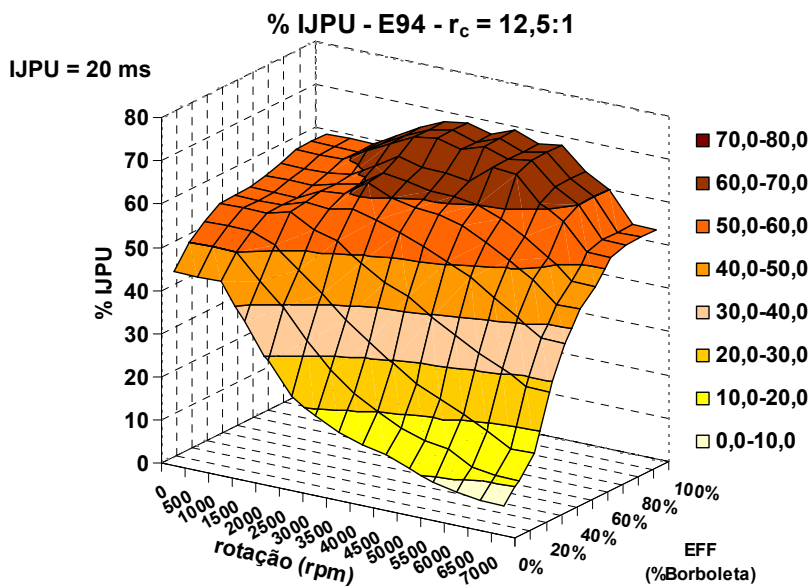


Figura 4.5: Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 12,5:1.



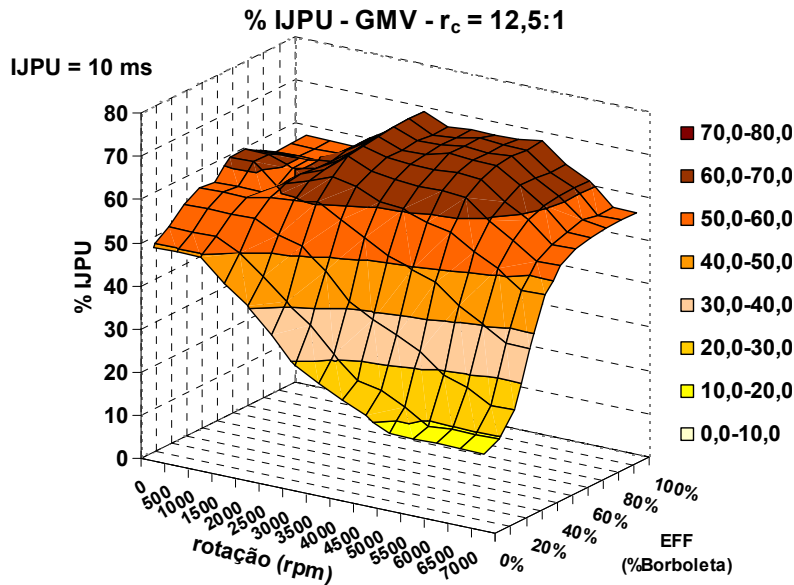


Figura 4.6: Mapa de tempo de injeção do GMV com razão de compressão de 12,5:1.

O GMV também apresenta esta área plana maior que a do álcool etílico, porém isso ocorre porque o GMV não trabalha com mistura rica em nenhuma área do mapa. Assim, não é observada no mapa a pequena queda no valor de %IJPU entre 80 e 70% de EFF devido à diminuição do fator lambda que ocorre nos combustíveis líquidos.

Os tempos de injeção são ligeiramente inferiores para a razão de compressão de 12,5:1 porque a eficiência térmica aumenta e o SFC tende a diminuir, o que influencia na quantidade combustível que deve ser colocada no cilindro.

Para a razão de compressão de 15:1, foram levantados os mapas apenas para o álcool etílico e GMV, pois essa razão é muito alta para a gasolina, inviabilizando o funcionamento principalmente em rotações elevadas devido à elevação da EGT por avanços de ignição reduzidos.

Os mapas das figuras 4.7 e 4.8 são os obtidos na fase da razão de compressão de 15:1. Estes mapas de tempo de injeção de combustível apresentam o formato e a faixa de valores bem próxima aos dos obtidos com a razão de compressão 12,5:1. Não houve necessidade de enriquecimento da mistura do álcool etílico porque não houve elevação

de temperatura de EGT em relação à calibração realizada para a razão de compressão de 12,5:1, apesar da alta razão de compressão para o álcool etílico.

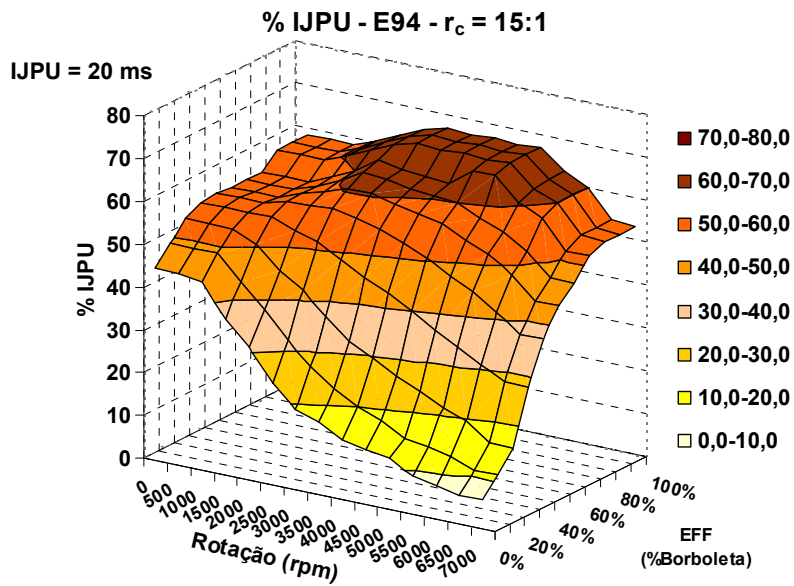


Figura 4.7: Mapa de tempo de injeção do álcool etílico com razão de compressão de 15:1.

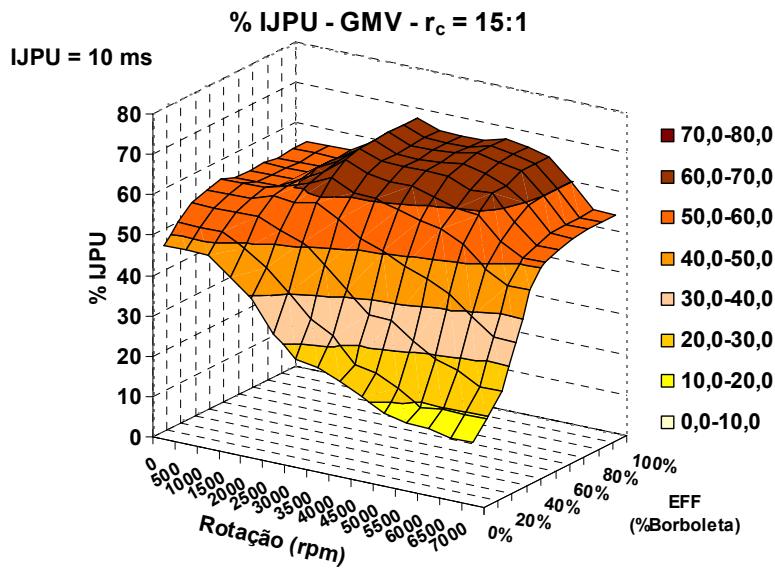


Figura 4.8: Mapa de tempo de injeção do GMV com razão de compressão de 15:1.

Os mapas de combustível mostram que não houve alteração significativa no consumo de combustível por ciclo com a elevação da razão de compressão para 12,5:1 para todos os combustíveis e para a razão de 15:1 para o álcool etílico e o GMV. Nota-se que houve a necessidade de enriquecimento da mistura para a gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 através do aumento da área plana na parte superior do gráfico.

Através dos mapas de tempo de injeção de combustível obtidos para o GMV nas diferentes razões de compressão foi possível comparar o comportamento da eficiência volumétrica do motor, que somente se reduziu com a abertura da válvula borboleta abaixo de 70%. O comportamento da eficiência volumétrica é mais fácil de ser visualizado nos mapas de combustível do GMV porque eles foram calibrados com os mesmos valores do fator lambda (1,00) em todo o mapa.

#### **4.2. Mapas de ângulo de avanço de ignição**

Os mapas de ângulo de avanço de ignição envolvem os parâmetros de rotação, LOAD e °APMS. A rotação do motor é a frequência de funcionamento do motor, LOAD é o parâmetro da carga que está sendo aplicada ao motor, e o °APMS é o ângulo de avanço de ignição em graus antes do PMS.

A carga ou LOAD que é aplicada ao motor foi configurada de duas maneiras distintas. Estas duas maneiras são as mesmas explicitadas para o parâmetro EFF na seção 4.1. Com o objetivo de manter os parâmetros EFF e LOAD iguais para a calibração dos mapas de tempo de injeção de combustível e de avanço de ignição, foi efetuada uma alteração desses parâmetros nesses mapas, passando de razão MAP-BAP para porcentagem de abertura da válvula borboleta. Essa alteração foi realizada durante a etapa de calibração do motor funcionando com GMV com a razão de 11:1 e foi mantida até o final da fase experimental.

As figuras 4.9, 4.10 e 4.11 mostram os mapas de avanço de ignição para a gasolina, o álcool etílico e o GMV com a razão de compressão de 11:1. De acordo com os mapas obtidos na calibração, a gasolina apresenta os menores avanços, enquanto o álcool etílico possui maior número de octanos, resistindo mais à ignição por compressão. Na calibração da gasolina, quase todo o mapa foi calibrado limitado pelo LDI, limite de

detonação inferior, enquanto foram encontrados vários pontos de MBT, menor ângulo de avanço para o melhor torque (em graus), para o álcool etílico.

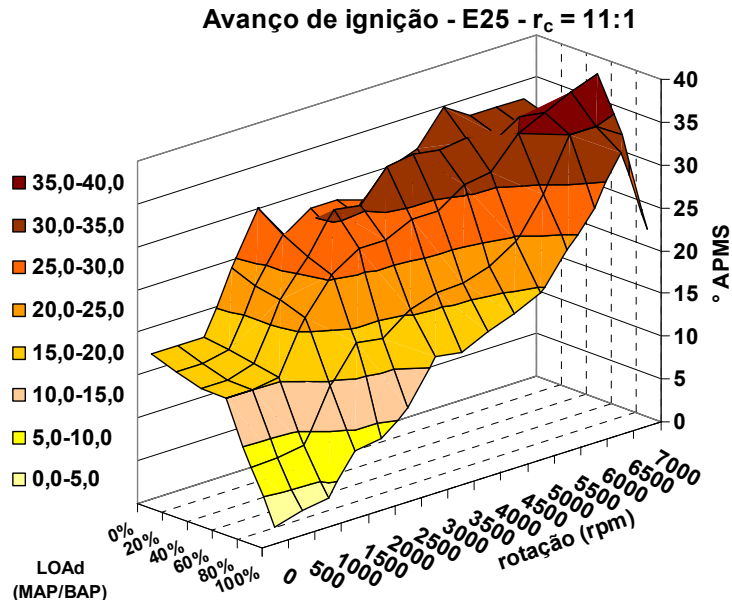


Figura 4.9: Mapa de avanço de ignição da gasolina com razão de compressão de 11:1.

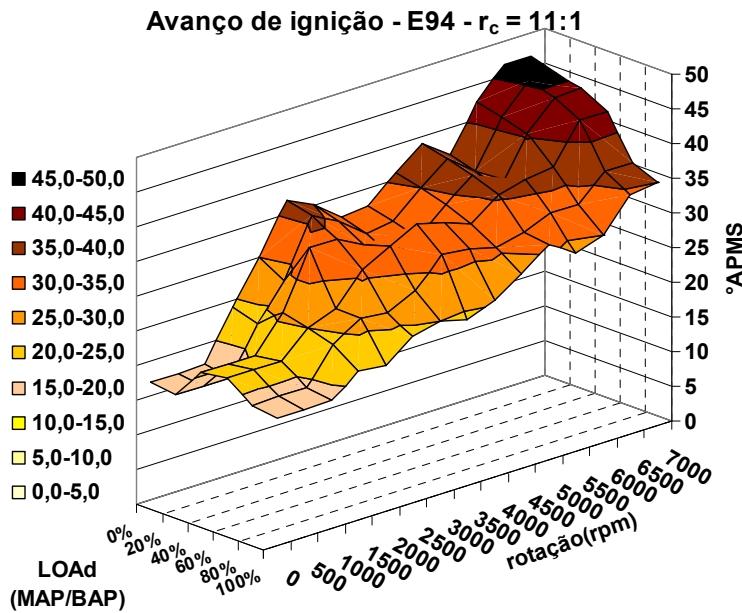


Figura 4.10: Mapa de avanço de ignição do álcool etílico com razão de compressão de 11:1.

A razão de compressão de 11:1 para o GMV é extremamente baixa, fazendo com que esse combustível suporte ainda mais avanço. Vê-se na figura 4.11 que o mapa para o GMV apresenta avanços quase constantes em relação à carga, principalmente em média e altas rotações. Isso ocorreu porque não foi detectado nenhum ponto em que o LDI fosse inferior ao MBT durante a calibração do motor para GMV.

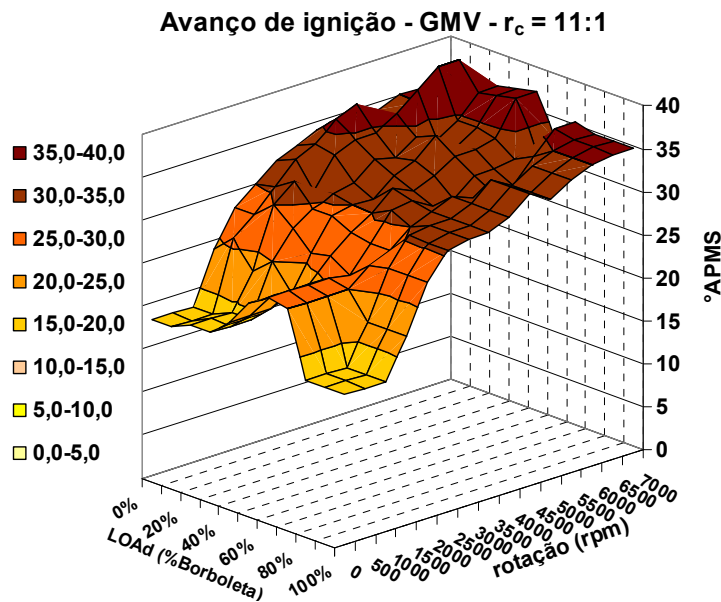


Figura 4.11: Mapa de avanço de ignição do GMV com razão de compressão de 11:1.

As figuras 4.12 a 4.14 mostram os mapas de avanço de ignição para a gasolina, álcool etílico e o GMV com razão de compressão de 12,5:1.

A calibração da gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 foi toda limitada por LDI. Essa razão é extremamente alta para esse combustível, o que fez com que os avanços fossem bem reduzidos e o desempenho fosse comprometido. Como consequência, devido ao fato da combustão estar acontecendo mais tarde, a temperatura da EGT ficou acima dos níveis permitidos para esse motor. Então, houve a necessidade de enriquecimento da mistura em pontos onde o fator lambda desejado era o estequiométrico.

Com a razão de compressão de 12,5:1, o álcool etílico teve os avanços de ignição maiores do que os da gasolina com a mesma razão de compressão. Não houve elevação

na EGT que justificassem o enriquecimento da mistura em cargas parciais causado por avanços de ignição extremamente reduzidos, como mostra a figura 4.13. Comparando com o álcool etílico para a razão de compressão de 11:1, os avanços tiveram que ser reduzidos devido ao aparecimento freqüente de pontos onde havia detonação, sendo que, com exceção das baixas cargas de 10% e 20% de abertura da válvula borboleta, o mapa foi calibrado encontrando-se LDI antes do MBT. No entanto, para o álcool etílico, a redução do avanço em relação à razão de compressão de 11:1 não foi tão intensa como a que ocorreu com a gasolina.

De acordo com a figura 4.14, os avanços de ignição do GMV foram os maiores entre os três combustíveis com a razão de compressão de 12,5:1. Isto ocorreu porque essa razão de compressão ainda é baixa para o melhor aproveitamento de energia desse combustível, apesar de ser uma razão superior à original do motor. Embora tenham sido levemente inferiores, pode-se observar que os avanços de ignição com a razão de compressão de 12,5:1 se mantiveram constante entre 30° e 35° para altas cargas e altas e médias rotações. Nessa razão de compressão, em alguns poucos pontos, foi encontrado o LDI antes do MBT, sendo que quase todo o mapa foi calibrado encontrando-se MBT antes do LDI.

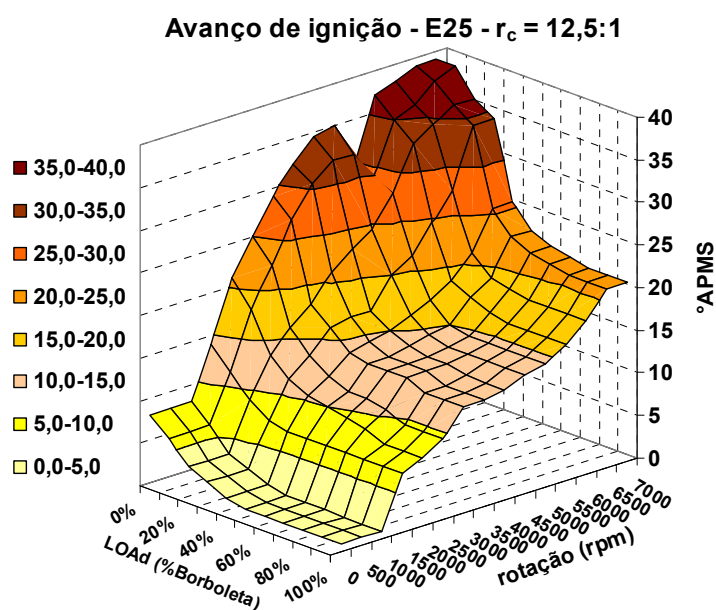


Figura 4.12: Mapa de avanço de ignição da gasolina com razão de compressão de 12,5:1

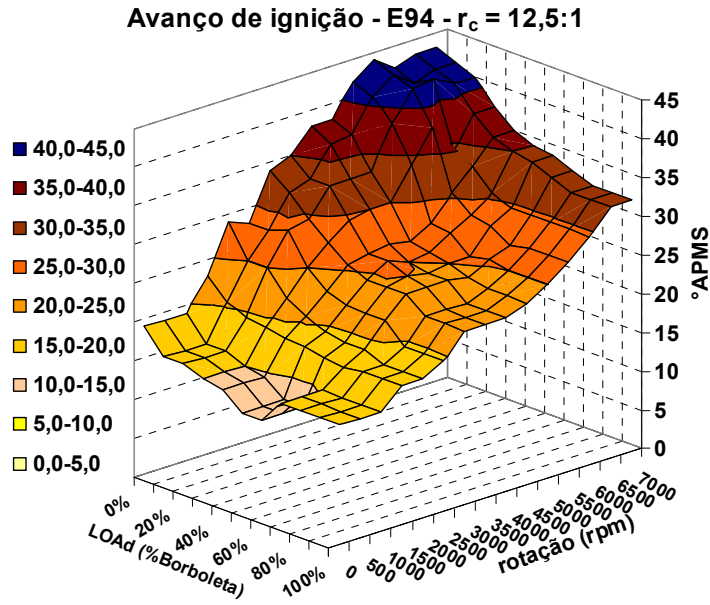


Figura 4.13: Mapa de avanço de ignição do álcool etílico com razão de compressão de 12,5:1.

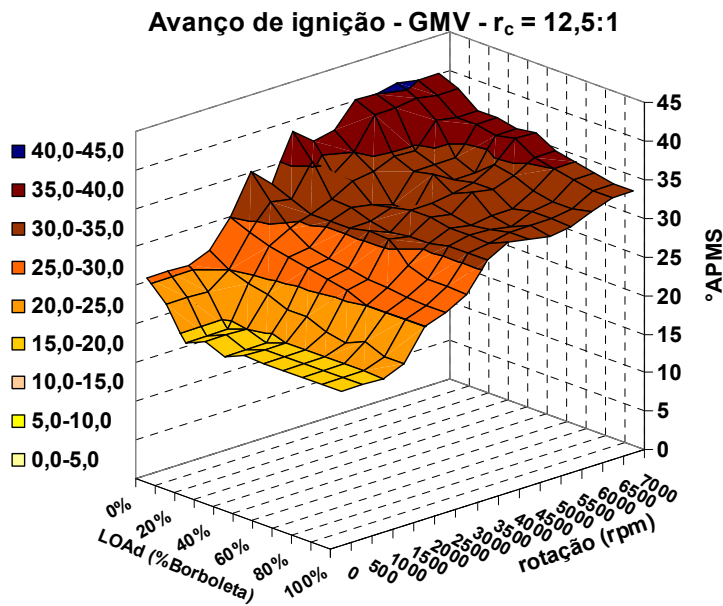


Figura 4.14: Mapa de avanço de ignição para o GMV com razão de compressão de 12,5:1.

As figuras 4.15 e 4.16 mostram os mapas de avanço de ignição para o álcool etílico e o GMV com a razão de compressão de 15:1.

Observando-se a figura 4.15, o álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 obteve avanços de ignição inferiores ao das outras razões de compressão menores, pois essa razão é mais elevada para a utilização com álcool etílico. Porém, apesar do aparecimento de detonação com avanços menores em relação às outras razões de compressão, não houve problemas com elevação excessiva da EGT. Todo o mapa obtido na calibração teve o avanço de ignição limitado por LDI.

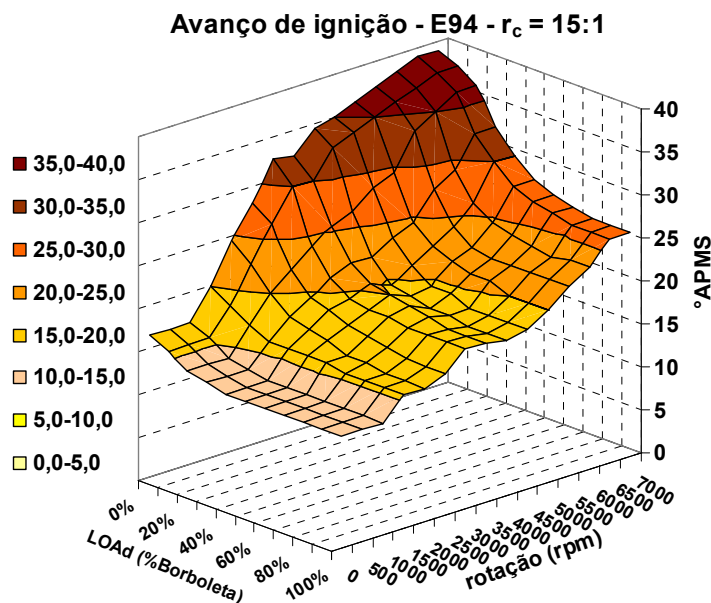


Figura 4.15: Mapa de avanço de ignição para o álcool etílico com razão de compressão de 15:1.

A razão de compressão de 15:1 para o GMV também reduziu os avanços de ignição para essa condição de funcionamento. Essa razão de compressão é mais condizente ao uso do GMV, o qual pode suportar maiores razões de compressão. Pode-se observar na figura 4.16 que o mapa de avanço não apresentou um formato plano como nas outras razões de compressão menores devido ao aparecimento de detonação, o que limitou o aumento do avanço de ignição pelo LDI.



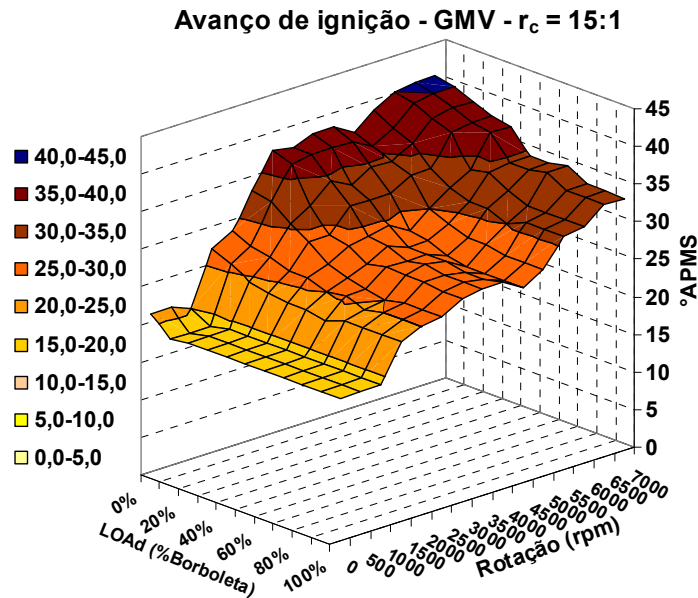


Figura 4.16: Mapa de avanço de ignição para o GMV com razão de compressão de 15:1.

Os mapas de avanço de ignição do motor mostram a redução no avanço devido ao surgimento da detonação com a elevação da razão de compressão. Esses mapas também apresentam a diferença de avanço entre os combustíveis utilizados, mostrando que para a mesma razão de compressão, a gasolina é mais susceptível ao aparecimento de detonação do que o álcool etílico e o GMV, levando a avanços menores limitados por LDI.

Os mapas de avanço de ignição também mostram que os avanços para o álcool etílico e para o GMV não foram reduzidos com a elevação para 12,5:1 e 15:1 para patamares extremamente baixos, como ocorreu no caso da gasolina com a razão de compressão de 12,5:1. Isso mostra que a elevação da pressão interna do cilindro através de sobrealimentação (turbocompressor) para o álcool etílico e para o GMV pode apresentar resultados superiores aos do motor aspirado, já que os avanços de ignição diminuíram, mas continuaram em uma faixa de valores próximos aos obtidos com gasolina para a razão de compressão de 11:1.

### **4.3. Curvas de desempenho**

As curvas de desempenho foram obtidas conforme a norma NBR-1585 em intervalos de rotação de 250 rpm. As curvas de desempenho são apresentadas para cada combustível para todas as razões de compressão. São apresentadas e analisadas as curvas de torque corrigido, potência corrigida, fator lambda e consumo específico de combustível.

Todos os fatores de correção obtidos neste trabalho para a correção do torque e da potência ficaram acima de 1,07. Então, conforme a norma NBR-1585, os fatores de correção e as condições de ensaio (temperatura, pressão e umidade relativa do ar) são mostrados no anexo B.

#### **4.3.1. Resultados do motor funcionando com gasolina com razões de compressão de 11:1 e 12,5:1**

As curvas de desempenho do motor funcionando com gasolina foram adquiridas primeiramente com a UCE original e com razão de compressão de 11:1 para serem usadas como referência para a calibração do motor com a UCE MoTeC M4. Com base nesses resultados, o motor foi calibrado e as curvas de desempenho foram obtidas para as razões de compressão de 11:1 e 12,5:1 com 100%, 71,5%, 43,5%, 25% e 14% de abertura da válvula borboleta.

As curvas de torque corrigido, potência corrigida, consumo específico de combustível e fator lambda para 100%, 71,5%, 43,5% e 25% de abertura da válvula borboleta apresentam as semelhanças entre a calibração original do motor com a razão de compressão de 11:1 e a calibração da UCE MoTeC M4 e as diferenças entre as calibrações feitas na UCE MoTeC M4 com as razões de compressão de 11:1 e 12,5:1. As curvas obtidas com 14% de abertura da válvula borboleta apresentam somente as diferenças entre as calibrações realizadas na UCE MoTeC M4 com as mesmas razões de compressão, pois não houve aquisição nessa carga com a UCE original.

##### **4.3.1.1. Resultados para plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta**

De acordo com as figuras 4.17 e 4.18, comparando-se as curvas de torque e potência corrigidos do motor com razão de compressão de 11:1 com a UCE original e com a

MoTeC M4, os resultados obtidos com MoTeC M4 para a mesma razão de compressão são bem próximos, diferenciando-se apenas em alguns pontos, porém sem grande diferença expressiva, indicando que a calibração da UCE MoTeC M4 obteve resultados de desempenho satisfatórios. Observa-se que houve uma queda no torque corrigido e na potência corrigida do motor com o aumento da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 em praticamente toda a faixa de rotação. Isso acontece porque a plena carga (100%), a razão de compressão de 12,5:1 é muito alta para a gasolina, causando o surgimento precoce da detonação mesmo com avanços reduzidos. Nota-se na figura 4.19 que, mesmo com as potências se mostrando menores para a razão de compressão de 12,5:1, os consumos específicos para razão de compressão de 11:1 e 12,5:1 são bem próximos.

A figura 4.20 mostra o fator lambda, indicando uma flutuação dos valores do fator lambda da calibração com a UCE original em relação a UCE MoTeC M4. Isso ocorreu porque a calibração da MoTeC teve o parâmetro de carga LOAD como sendo uma razão MAP-BAP. A não-linearidade da eficiência volumétrica em relação à porcentagem de abertura da válvula borboleta causa grande instabilidade no valor do parâmetro LOAD, o que dificulta a estabilização do fator lambda no valor desejado.

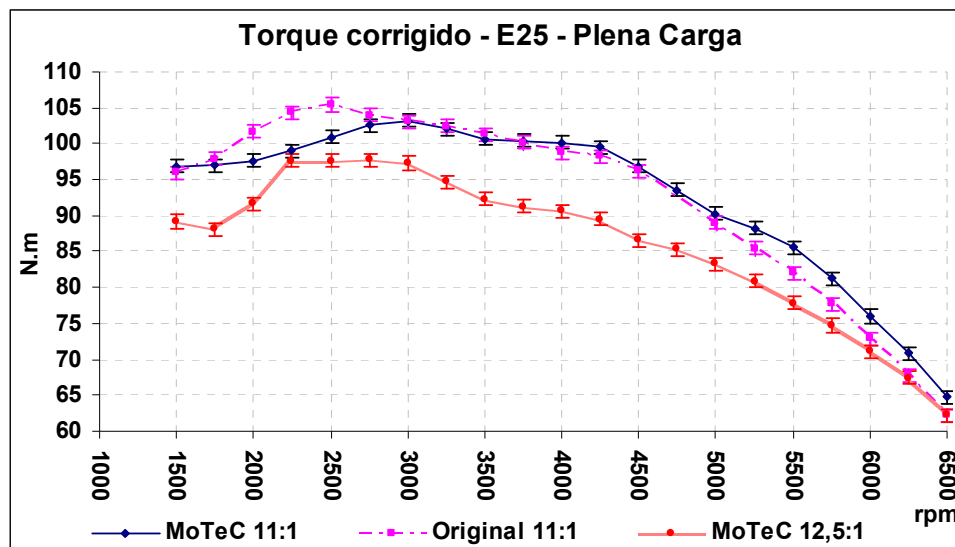


Figura 4.17: Curvas de torque corrigido para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.

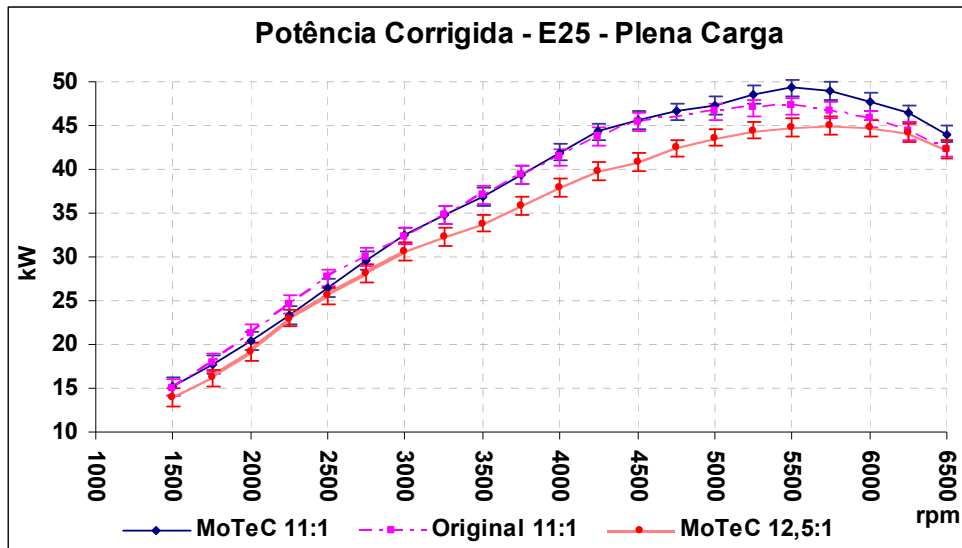


Figura 4.18: Curvas de potência corrigida para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.

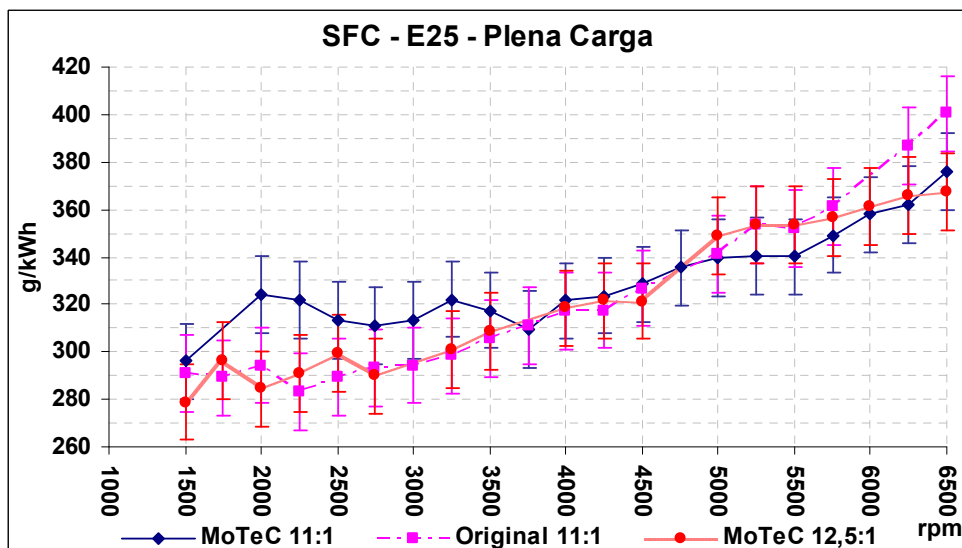


Figura 4.19: Curvas de consumo específico (SFC) de gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.

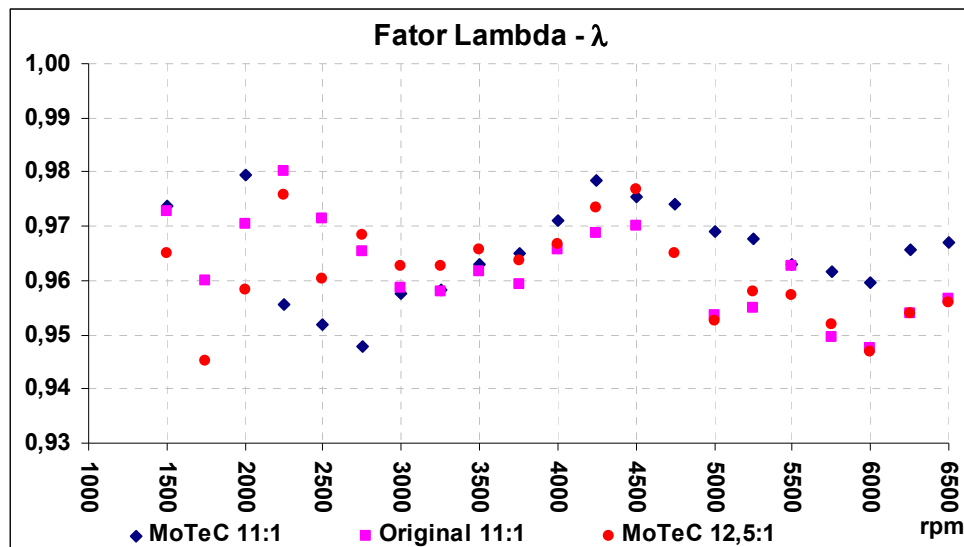


Figura 4.20: Curvas do fator lambda para a gasolina com 100% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.1.2. Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta

Como ocorrido em plena carga, o torque corrigido (figura 4.21) e a potência corrigida do (figura 4.22) motor com a razão de compressão de 11:1 para UCE original e com a UCE MoTeC M4 com 71,5% de abertura da válvula borboleta são semelhantes. Na Figura 4.24, observa-se que o fator lambda para a faixa de rotação do motor de 1500 rpm a 4000 rpm corresponde a valores de mistura rica (0,93 a 0,98). No entanto, com a UCE original, pode ser observado que esses fatores lambda correspondem aos de uma mistura estequiométrica para as duas razões de compressão. A configuração para as cargas EFF e LOAD são diferentes, sendo para a razão de compressão de 11:1 uma razão MAP-BAP e para a razão de compressão de 12,5:1 a porcentagem de abertura da válvula borboleta. Esta diferença faz com que, para a razão compressão de 11:1, essa carga seja considerada plena carga, pois ainda não há diminuição da pressão do ar no coletor de admissão e, portanto, o fator lambda seja sempre rico. Isso não ocorre com os parâmetros EFF e LOAD quando esses são configurados para serem em função da abertura da válvula borboleta porque, mesmo estando com o fluxo máximo de ar já acima de 70% de abertura da borboleta, pode-se calibrar quantidades de combustível

diferentes para cada porcentagem de abertura. Nota-se que esse enriquecimento do fator lambda acarreta um aumento no consumo específico, como se observa na figura 4.23.

Em relação ao motor com a razão de compressão de 12,5, nota-se que o torque corrigido e a potência corrigida foram inferiores ao do motor com a relação de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC. Essa perda ocorreu porque com os avanços de ignição foram baixos, limitados por LDI devido ao surgimento de detonação. A figura 4.24 mostra que o fator lambda para a razão de compressão de 12,5:1 teve que ser diminuído a partir de 3500 rpm devido ao fato da EGT estar elevada, acima de 1183 K (910° C).

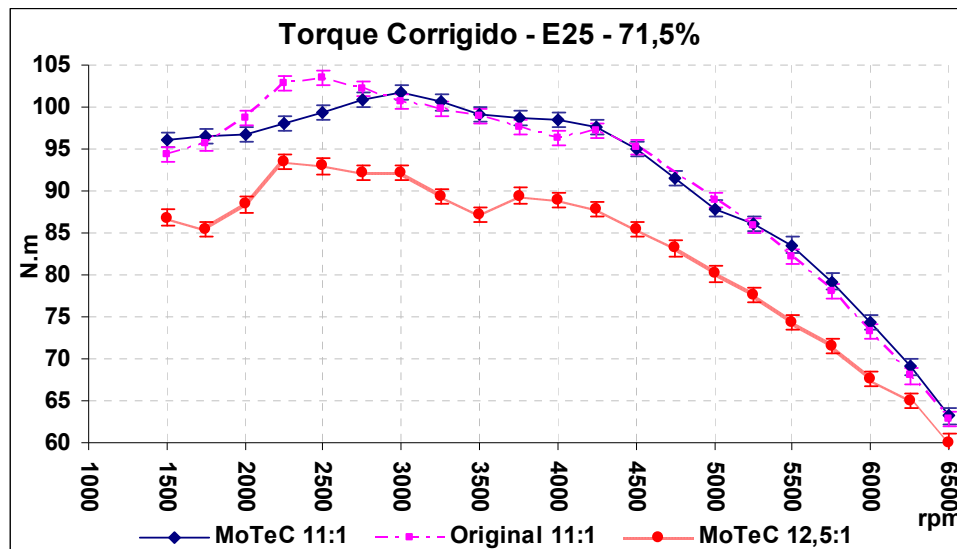


Figura 4.21: Curvas de torque corrigido para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

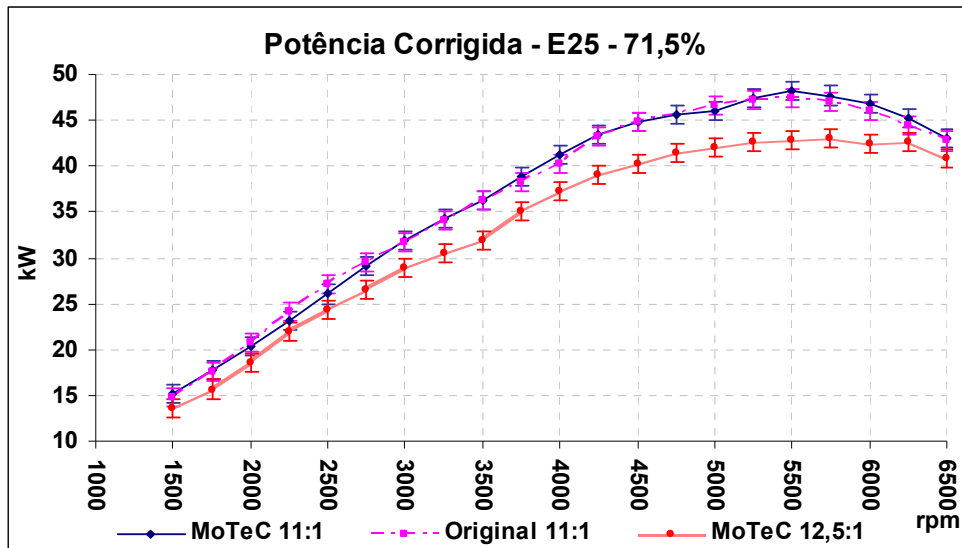


Figura 4.22: Curvas de potência corrigida para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

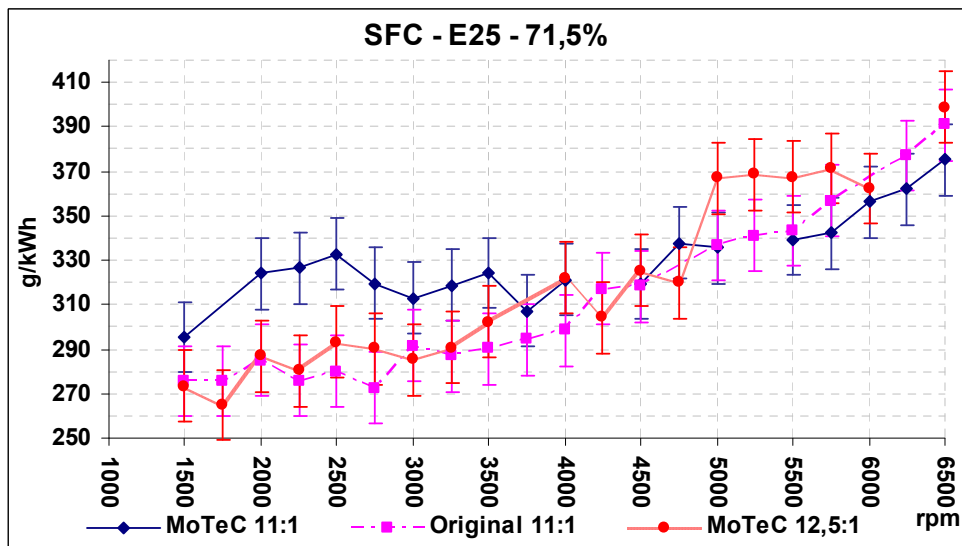


Figura 4.23: Curvas de consumo específico (SFC) de gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

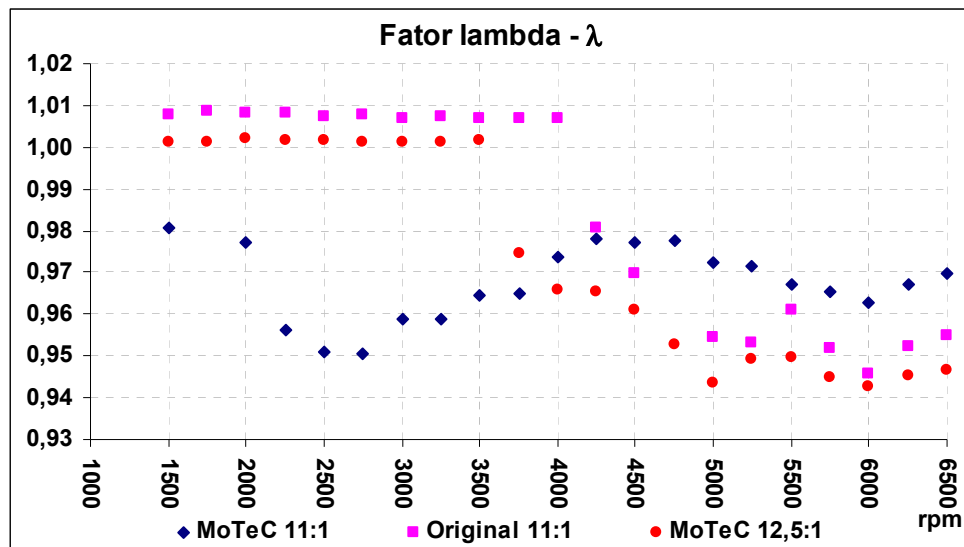


Figura 4.24: Curvas do fator lambda para a gasolina com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.1.3. Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta

Como ocorrido para plena carga e com 71,5% de abertura da borboleta, os valores de torque corrigido (figura 4.25) e potência corrigida (figura 4.26) obtidos com a UCE MoTeC M4 e com a UCE original com a razão de compressão de 11:1 são semelhantes. O torque corrigido e a potência corrigida para a razão de compressão de 12,5:1 são bem inferiores aos com a razão de compressão de 11:1.

Pode-se verificar no gráfico com as curvas do fator lambda (figura 4.28) que, com essa configuração, o fator lambda não fica estabilizado como ocorre com os valores do fator lambda obtidos do motor com a razão de compressão de 12,5:1. Essa instabilidade no valor do fator lambda para a razão de compressão de 11:1 se dá por dois motivos. O primeiro é o fato da calibração ter sido feita com o parâmetro de carga LOAD ter sido configurado como sendo uma razão MAP-BAP, como explicitado anteriormente no caso de 71,5% de abertura da válvula borboleta. O segundo é o fato de que nessa etapa não havia a sonda lambda habilitada e em malha fechada para o ótimo controle da mistura. A figura 4.28 mostra que, já com 43,5% de abertura de borboleta, não foi possível calibrar a tabela de tempo de injeção de combustível para se alcançar o fator



lambda estequiométrico para rotações acima de 4000 rpm devido à alta temperatura dos gases de descarga, EGT, para a razão de compressão de 12,5:1.

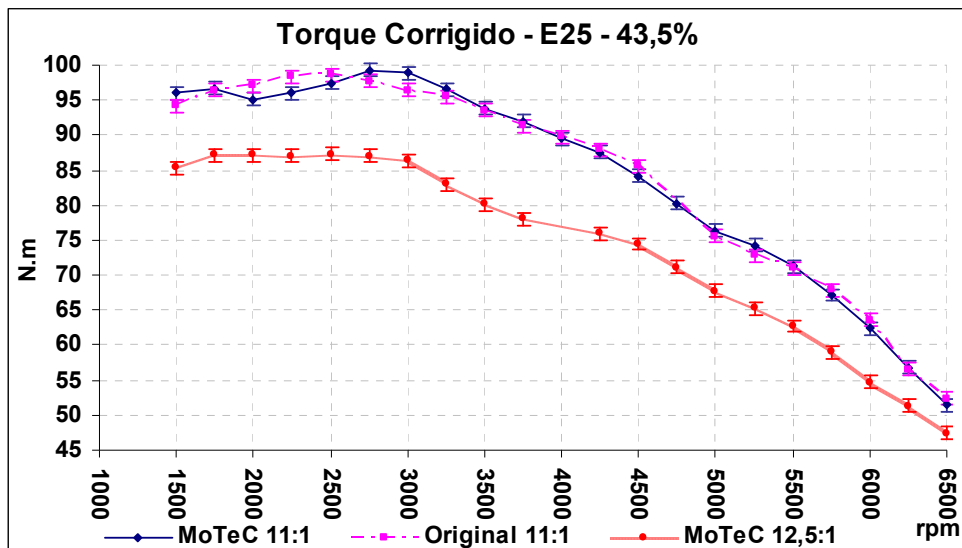


Figura 4.25: Curvas de torque corrigido para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

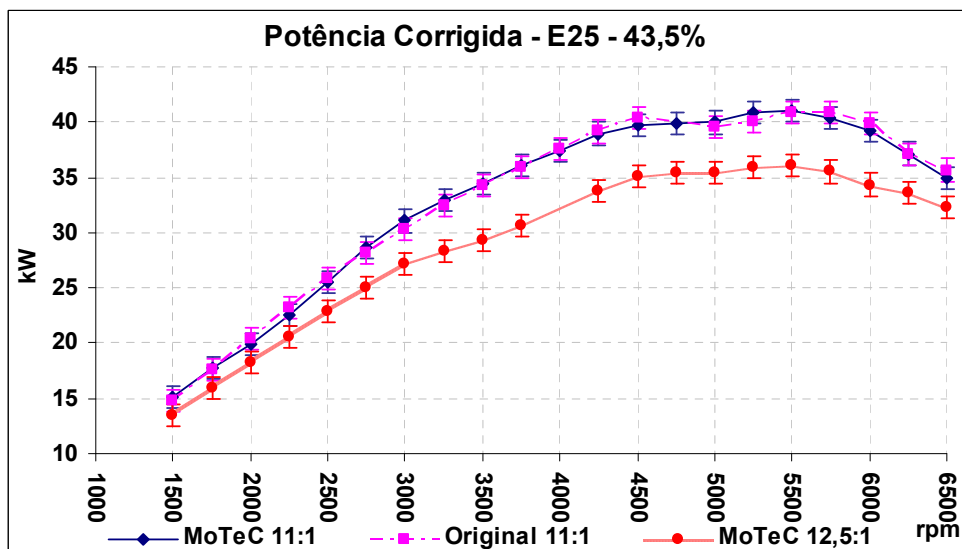


Figura 4.26: Curvas de potência corrigida para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

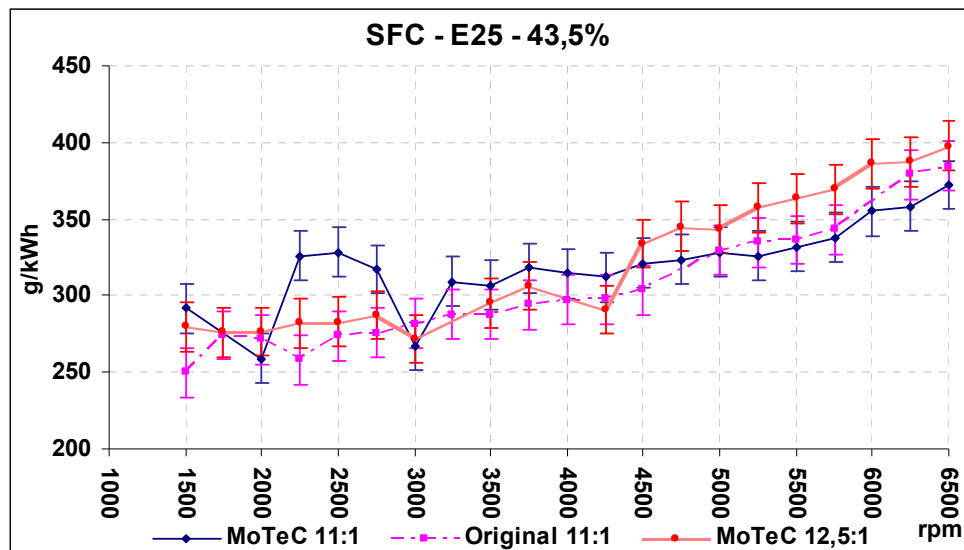


Figura 4.27: Curvas de consumo específico (SFC) de gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

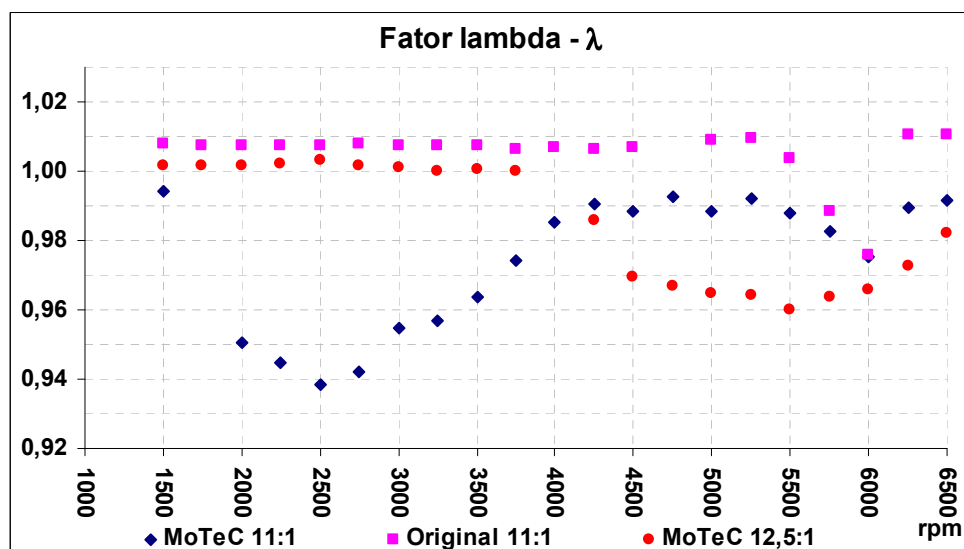


Figura 4.28: Curvas do fator lambda para a gasolina com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.1.4. Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta

As curvas de torque corrigido, potência corrigida, consumo específico de combustível e fator lambda com 25% de abertura da válvula borboleta apresentam as diferenças de desempenho entre a calibração original do motor e as calibrações feitas na UCE MoTeC M4 com as razões de compressão de 11:1 e 12,5:1.

De acordo com a figura 4.29, o torque corrigido obtido com a razão de compressão de 11:1 com UCE MoTeC foi bem maior do que o obtido com a UCE original, havendo um ganho expressivo de torque corrigido da calibração realizada na MoTeC M4 em relação a UCE original. Para a razão de compressão de 12,5:1, o torque é menor do que o obtido para a razão de 11:1, ambos calibrados pela MoTeC M4. A potência, como mostra figura 4.30, também reflete esse comportamento. O consumo específico de combustível (Figura 4.31) do motor com a UCE MoTeC com a razão de compressão de 11:1 é superior ao da razão de compressão de 12,5:1, porém as curvas são bem próximas.

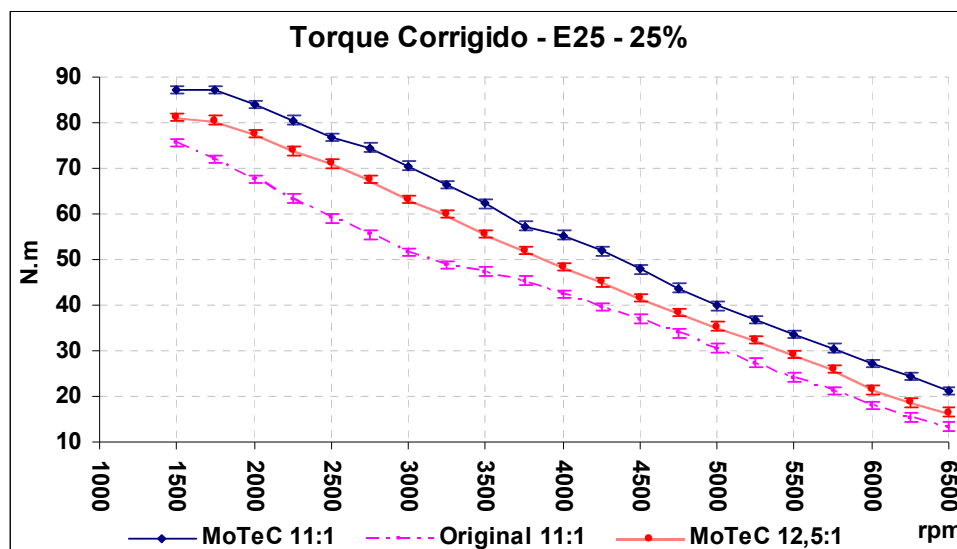


Figura 4.29: Curvas de torque corrigido para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.

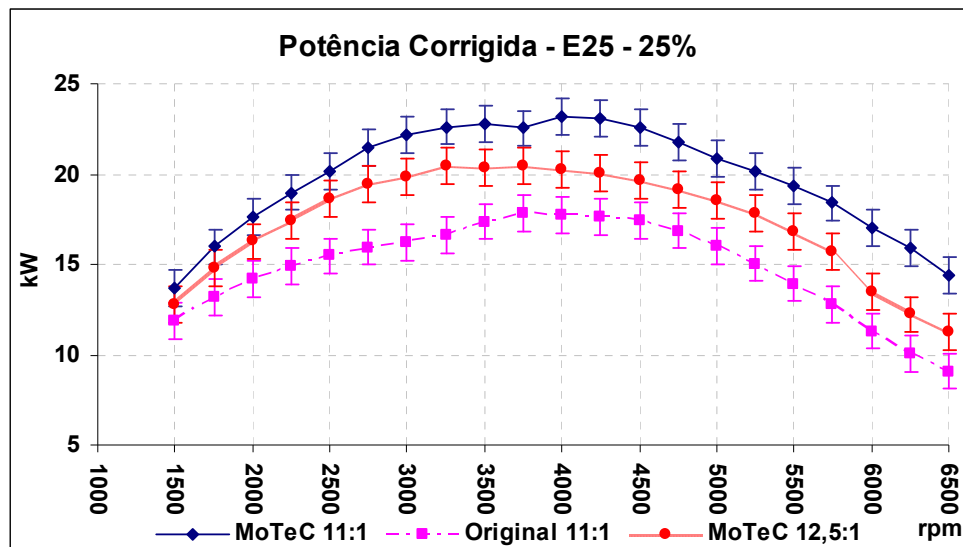


Figura 4.30: Curvas de potência corrigida para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.

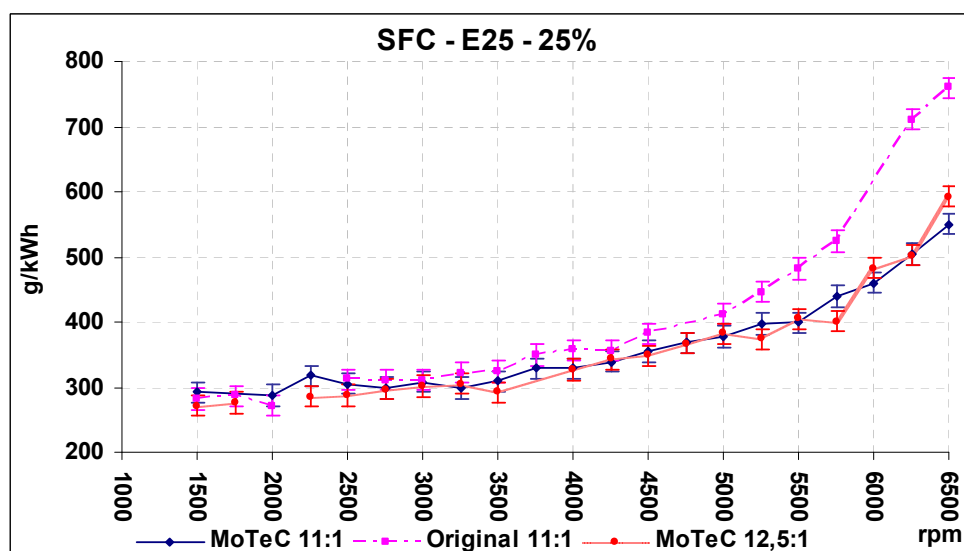


Figura 4.31: Curvas de consumo específico de gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.

Os valores do fator lambda para todas as configurações ficaram em torno de 1,00, como é observado na figura 4.32. No entanto os valores do fator lambda obtidos para razão de compressão de 12,5:1 são mais estáveis do que para a razão de 11:1, ambos com a UCE

MoTeC. Como não havia o controle da sonda lambda em malha fechada com o motor com a razão de compressão de 11:1, os valores divergem ligeiramente do desejado.

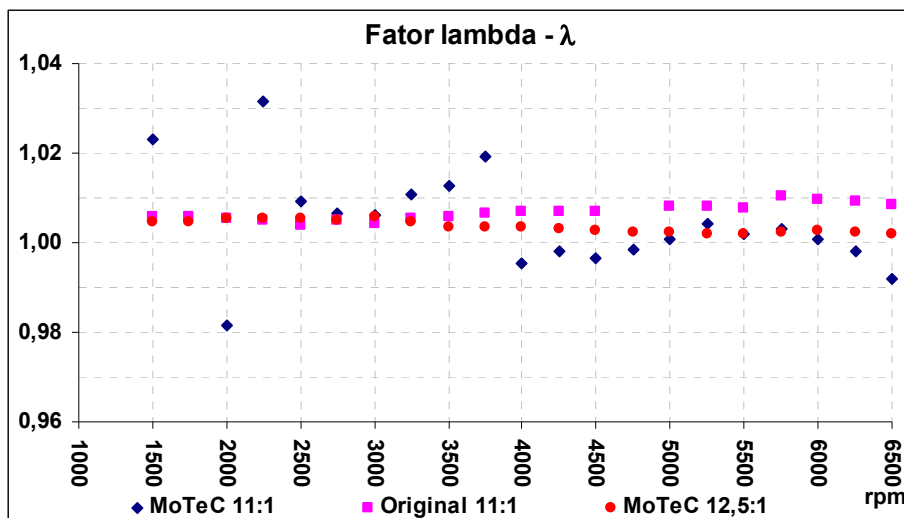


Figura 4.32: Curvas do fator lambda para a gasolina com 25% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.1.5. Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta

Como pode ser visto na figura 4.34, o motor com essa carga não gera potência suficiente para alcançar 6500 rpm, sendo limitadas a 5000 rpm para a razão de compressão de 12,5:1 e a 5500 rpm para a razão de compressão de 11:1. O torque com a razão de compressão de 12,5:1 foi inferior em toda a curva, como é mostrado na figura 4.33. A potência corrigida também apresenta o mesmo comportamento do torque corrigido, porém há o aumento da incerteza devido à associação da incerteza do torque corrigido com o da rotação do motor. Porém, o consumo específico das duas configurações se mostram semelhantes, segundo a figura 4.35.

Os valores do fator lambda (figura 4.36) para essa carga com as duas razões de compressão se mostraram estáveis em torno do fator lambda estequiométrico. Porém o motor com razão de compressão de 11:1 apresentou alguns pontos fora do comportamento normal, pois o controle da sonda lambda em malha fechada não havia sido habilitado para o controle da mistura.

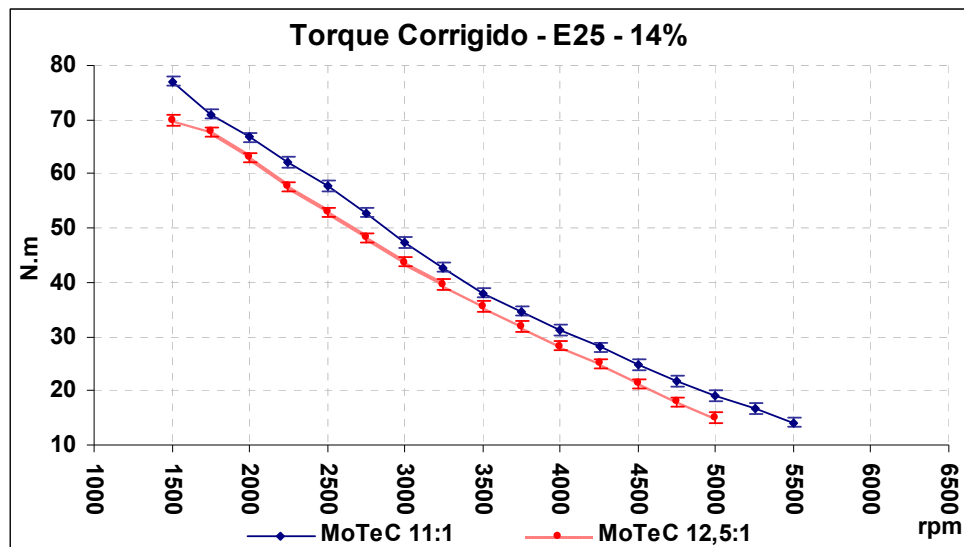


Figura 4.33: Curvas de torque corrigido para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.

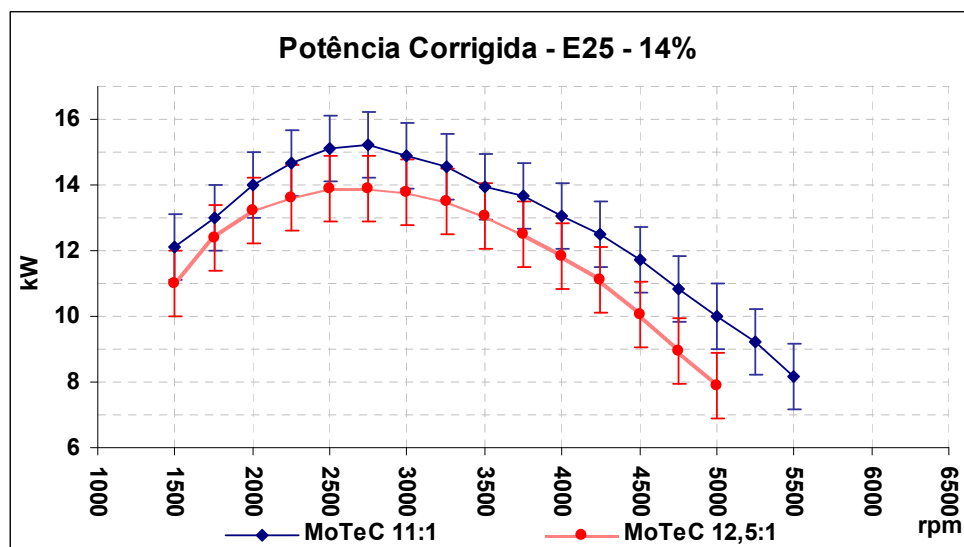


Figura 4.34: Curvas de potência corrigida para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.

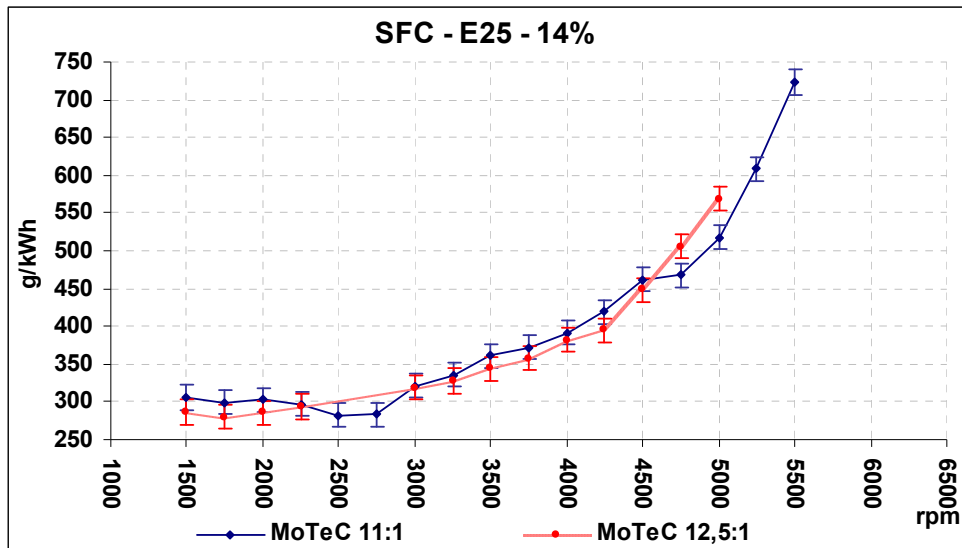


Figura 4.35: Curvas de consumo específico de gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.

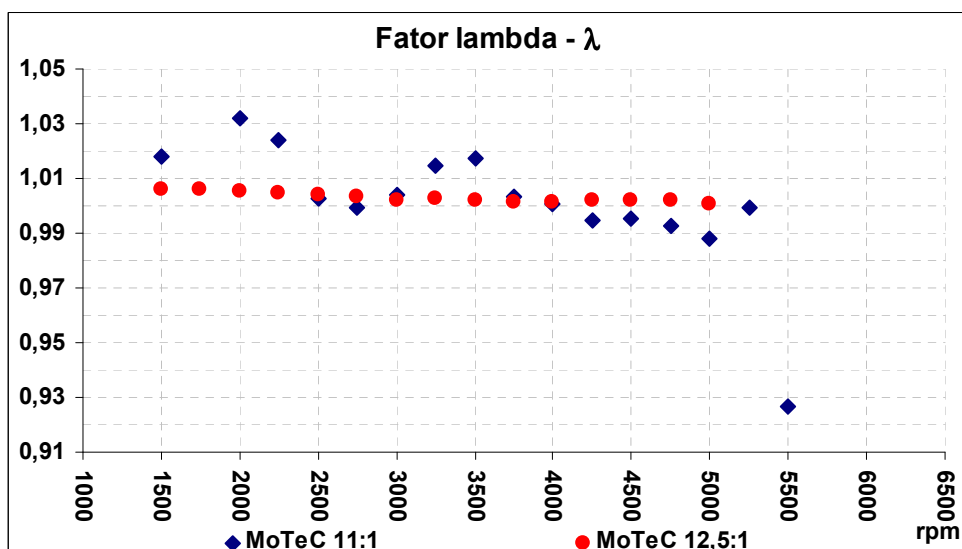


Figura 4.36: Curvas do fator lambda para a gasolina com 14% de abertura da válvula borboleta.

Os resultados obtidos para a gasolina mostram que não houve melhorias no desempenho e no consumo específico de combustível do motor com a elevação da razão de compressão. Pelo contrário, houve perda no torque corrigido e potência do motor,

principalmente em baixas cargas. O aumento na razão de compressão também obrigou o enriquecimento da mistura em cargas intermediárias, entre 40% e 70% de abertura da válvula borboleta, onde a mistura deveria ser estequiométrica, para reduzir a temperatura dos gases de descarga. Então, a elevação da razão de compressão não foi justificada pelas curvas apresentadas neste trabalho para a gasolina.

#### **4.3.2. Resultados do motor funcionando com álcool etílico hidratado com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.**

As curvas de desempenho do motor funcionando com álcool etílico foram adquiridas primeiramente com a UCE original para serem usadas como referência para a calibração do motor com a UCE MoTeC M4. Com base nesses resultados, a UCE foi calibrada e as curvas de desempenho foram obtidas para as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1 com 100%, 71,5%, 43,5%, 25% e 14% de porcentagem de abertura da válvula borboleta.

As curvas de torque corrigido, potência corrigida, consumo específico de combustível e fator lambda para 100%, 71,5%, 43,5% e 25% de abertura da válvula borboleta apresentam as semelhanças entre a calibração original do motor com a razão de compressão de 11:1 e a calibração da UCE MoTeC M4 e as diferenças entre as calibrações feitas na UCE MoTeC M4 com as razões de compressão de 11:1 e 12,5:1. As curvas obtidas com 14% de abertura da válvula borboleta apresentam somente as diferenças entre as calibrações realizadas na UCE MoTeC M4 com as mesmas razões de compressão, pois não houve aquisição nessa carga com a UCE original.

##### **4.3.2.1. Resultados para plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta**

Conforme mostra a figura 4.37, o aumento da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 somente elevou o torque corrigido em altas rotações, a partir dos 5000 rpm. Em rotações inferiores a essa, o torque para a razão de compressão de 11:1 mostra-se maior. Já o aumento para 15:1 reduziu o torque em aproximadamente 8% em toda a curva em relação à razão de compressão de 11:1.

De acordo com a figura 4.38, a potência com a razão de compressão de 15:1, também se reduziu em torno de 8%, comparando-se com a curva da razão de compressão de 11:1.



Porém, devido à incerteza das medidas, não há diferenças das potências entre as razões de compressão de 12,5:1 e 11:1 em quase toda a curva. Somente em altíssimas rotações, acima de 6250, que o aumento da razão de compressão se mostrou efetivo, com um pequeno aumento da potência para a relação de compressão de 12,5:1.

No entanto, não houve redução do consumo específico de combustível (Figura 4.39) com o aumento da razão de compressão para 12,5:1. Devido à uma considerável perda de potência com a razão de compressão de 15:1 em relação à de 11:1, o consumo específico de combustível para a razão de compressão de 15:1 aumentou.

De acordo com as curvas do fator lambda (figura 4.40), os valores ficaram próximos aos da curva obtida com a UCE original que serviu de base na calibração. Somente os valores para razão de compressão de 11:1 ficaram levemente mais ricos, o que acarretou em um consumo de combustível um pouco superior ao obtido com a UCE original.

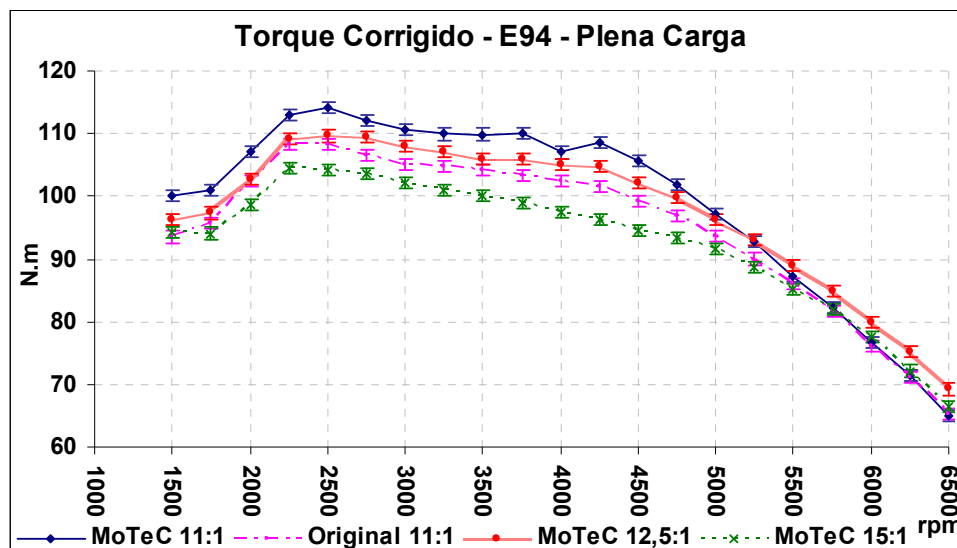


Figura 4.37: Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.

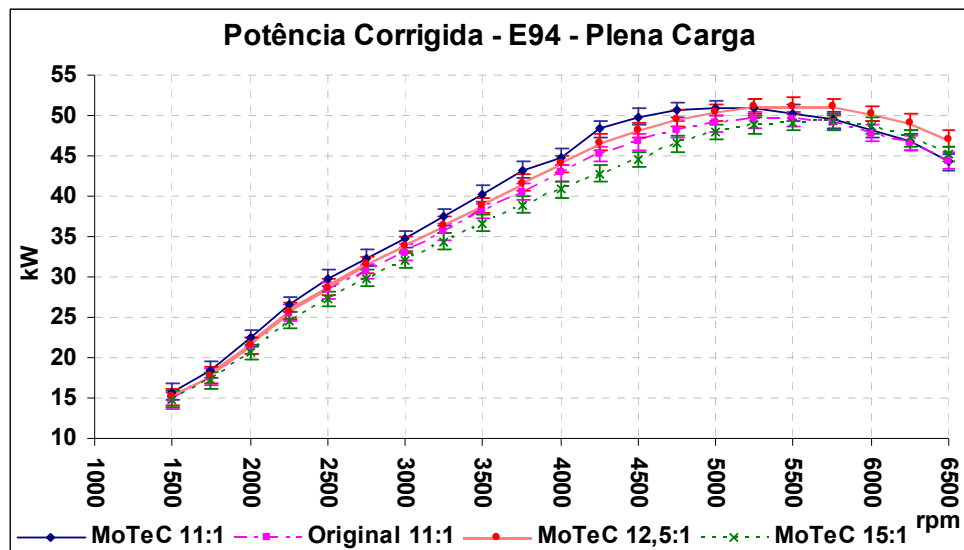


Figura 4.38: Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.

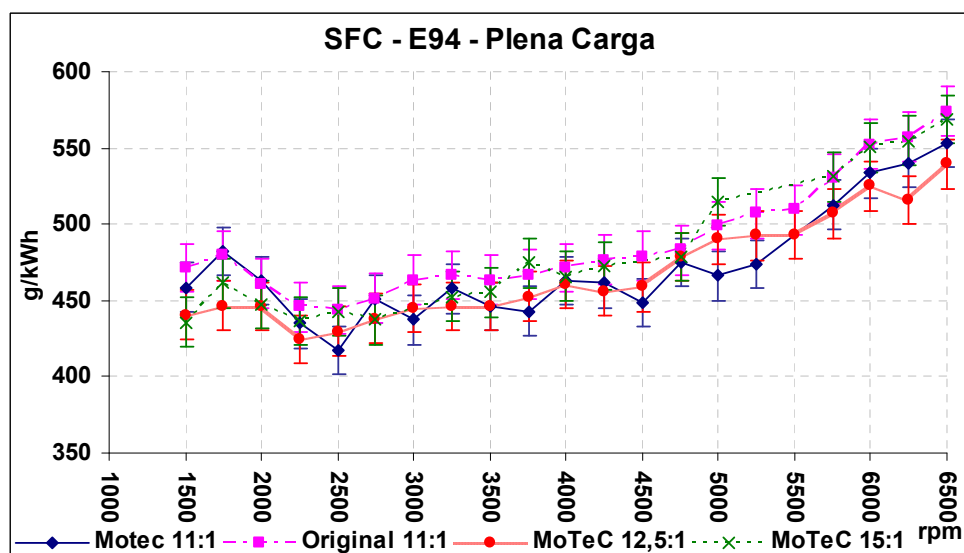


Figura 4.39: Curvas de consumo específico de álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.

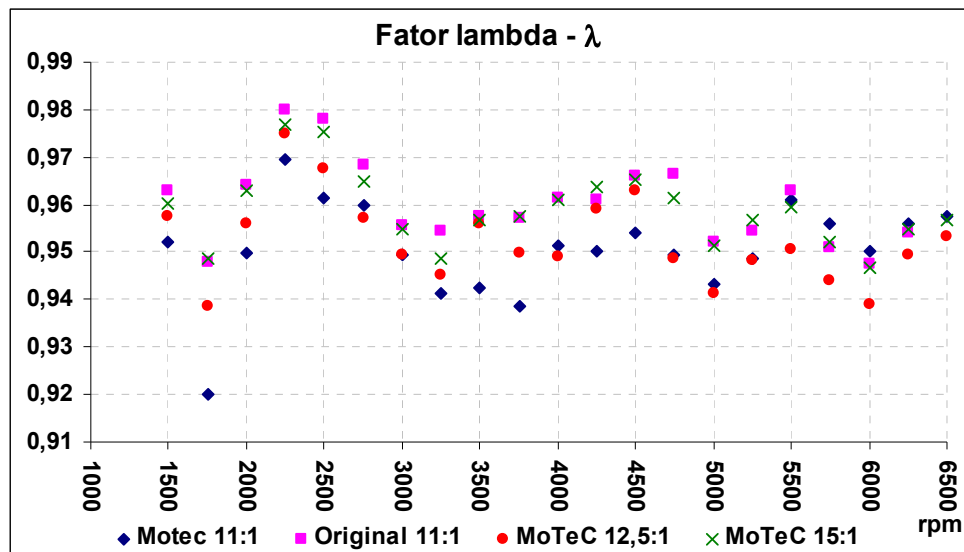


Figura 4.40: Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 100% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.2.2. Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta

Observando a figura 4.41, o torque obtido com a razão de compressão de 11:1 com a UCE MoTeC M4 foi superior ao com a UCE original, mostrando que a calibração está dentro do resultado esperado. O aumento da razão de compressão para 12,5:1 reduziu o torque em cerca de 7% em baixas e médias rotações, de 1500 rpm a 4750 rpm, em relação à razão de compressão de 11:1 com a UCE MoTeC M4. Nas altas rotações, acima de 5000 rpm, o torque se manteve igual ao da razão de compressão de 11:1. Com a razão de compressão de 15:1, o resultado para o torque foi ainda pior, reduzindo-o em cerca de 10%, se igualando aos valores para a razão de compressão de 11:1 somente acima dos 6000 rpm. A potência, como mostra a figura 4.42, também mostrou redução para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 em relação à 11:1 nos mesmos níveis que o torque.

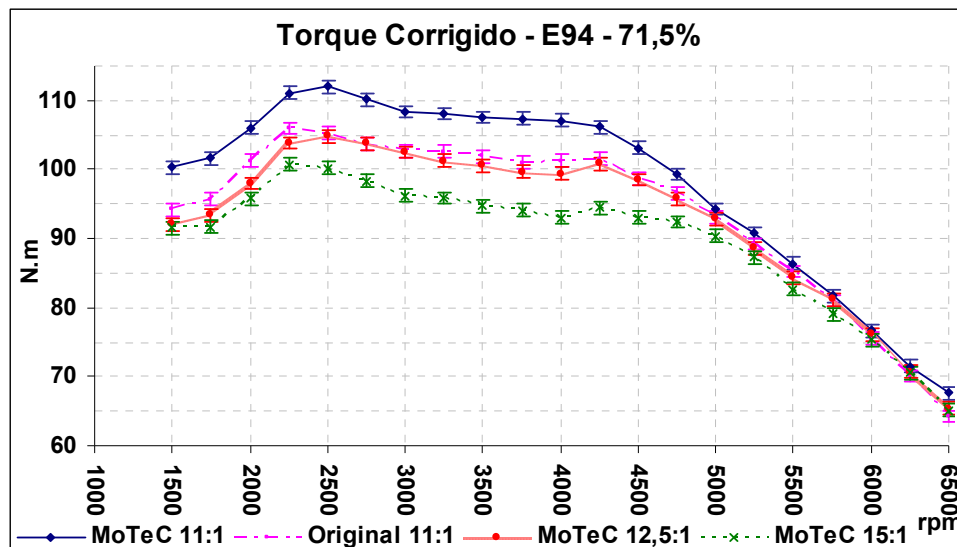


Figura 4.41: Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

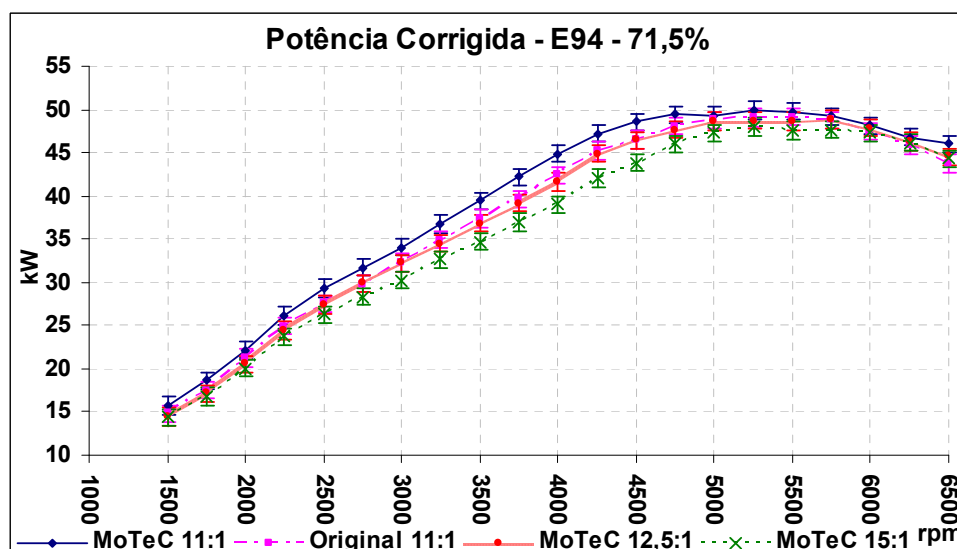


Figura 4.42: Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

O motor com a razão de compressão de 15:1 teve redução efetiva consumo específico de combustível (figura 4.43) diminuiu. No entanto, com a razão de compressão de 12,5:1, os valores de consumo específico de combustível se mantiveram iguais ao do

motor com a razão de compressão de 11:1. Pode-se notar também na figura 4.44, que os valores do fator lambda nessa mesma faixa de velocidade do motor são baixos enquanto que, para a razão de compressão de 11:1 com a UCE original e para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, eles são estequiométricos. A configuração dos parâmetros de carga EFF e LOAD são diferentes, sendo que para a razão de compressão de 11:1 é uma razão MAP-BAP e para a razão de compressão de 12,5:1 e 15:1 é a porcentagem de abertura da válvula borboleta. A configuração de EFF e LOAD como sendo uma razão MAP-BAP faz com que, para a razão compressão de 11:1 com 71,5% de abertura da válvula borboleta, seja considerada plena carga, pois ainda não há diminuição da pressão no coletor de admissão. Isso não ocorre quando os parâmetros EFF e LOAD são configurados como sendo função da abertura da válvula borboleta porque, mesmo já estando com a pressão de ar máxima acima de 70% de abertura da borboleta, pode-se calibrar quantidades de combustível diferentes para cada porcentagem de abertura.

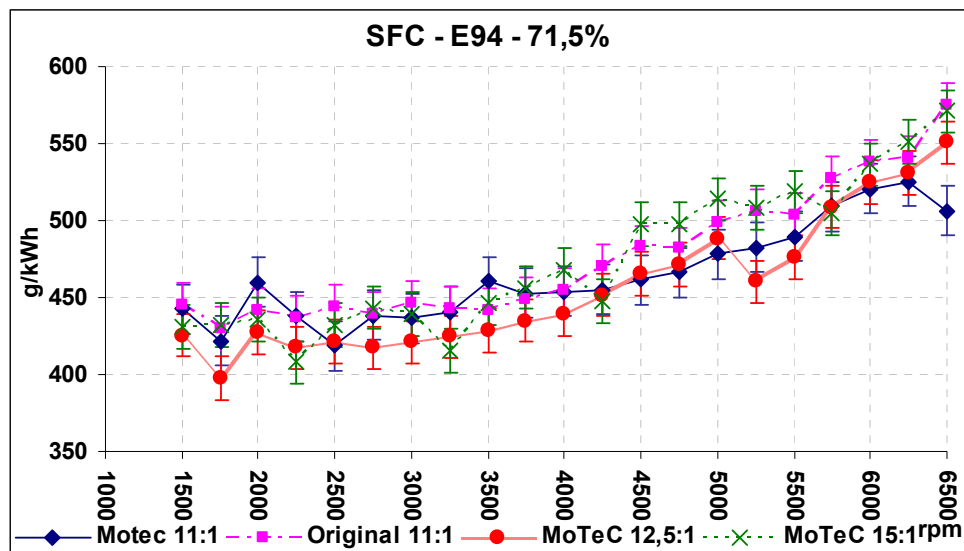


Figura 4.43: Curvas de consumo específico de álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

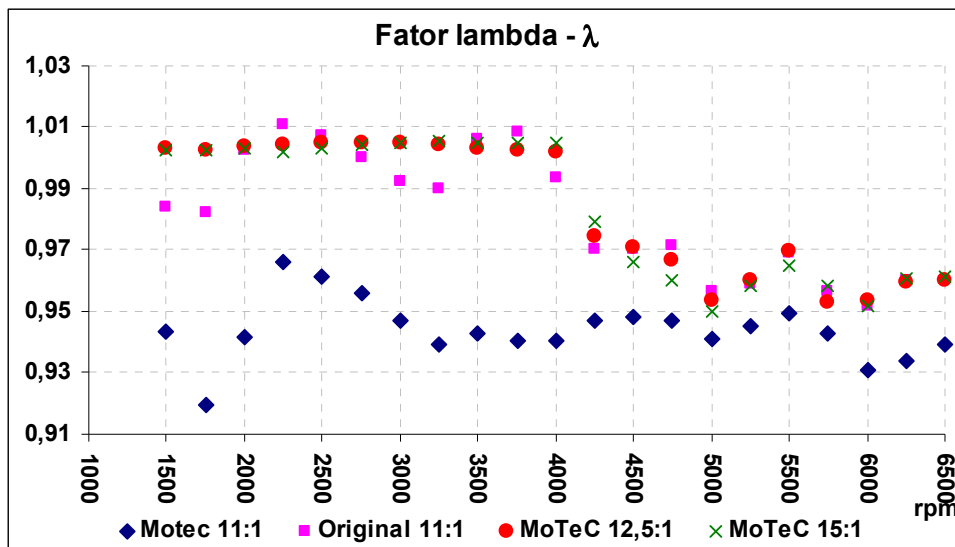


Figura 4.44: Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.2.3. Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta

As curvas de torque corrigido (figura 4.45) mostram que houve perda no torque com o aumento da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 e para 15:1. No motor com a razão de compressão de 12,5:1, o torque foi menor em baixas rotações, até 2750 rpm. Com a razão de compressão de 15:1 houve queda ao longo de toda curva em cerca de 6%. A figura 4.46 mostra que o motor com razão de compressão de 15:1 é menos potente que com a razão de compressão de 11:1. Porém, o motor com as razões de compressão de 11:1 e 12,5:1 não apresentam resultados de potência corrigida diferentes.

Como se vê na figura 4.48, o valor do fator lambda é consideravelmente menor com a razão de compressão de 11:1 do que com as outras razões de compressão. Nesse caso não havia a sonda lambda em malha fechada para controlar a mistura, deixando-a estequiométrica. Com 43,5% de abertura da válvula borboleta não foi necessário o enriquecimento do motor em altas rotações, pois não houve a ocorrência de altas EGT's com nenhuma das razões de compressão. Como a sonda lambda estava habilitada e em malha fechada quando o motor estava com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, o fator lambda se manteve estável durante toda a curva com fator lambda estequiométrico.

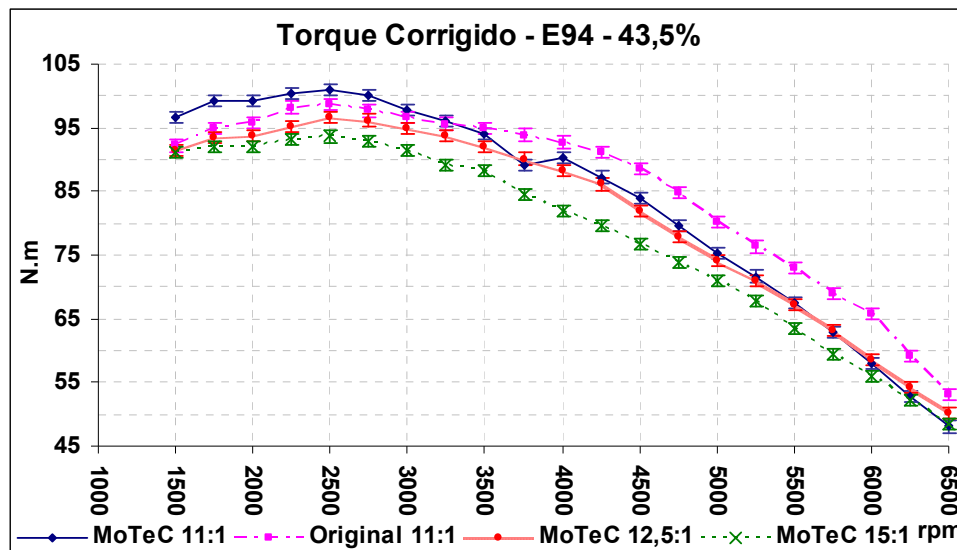


Figura 4.45: Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

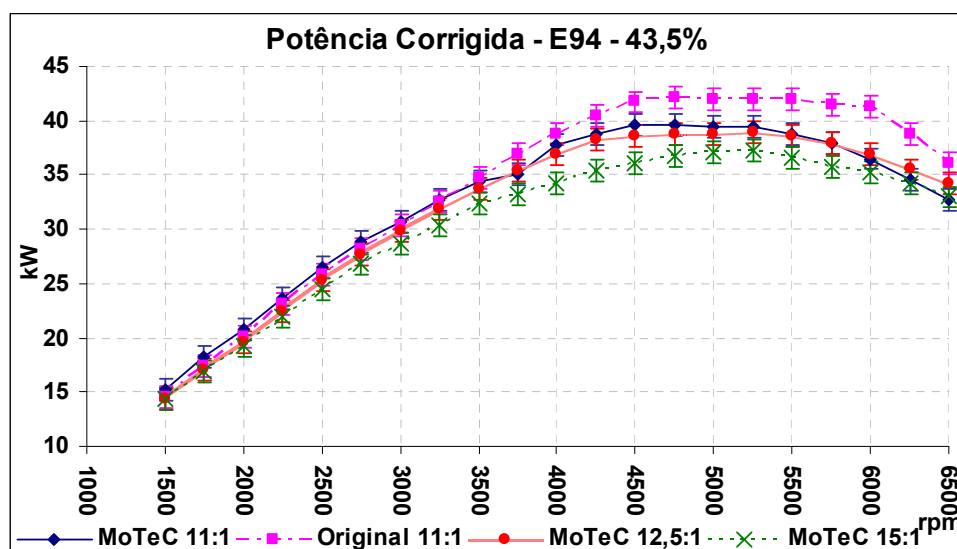


Figura 4.46: Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

Como mostra a figura 4.47, o consumo específico apresenta melhores resultados com o motor de razão de compressão de 12,5:1, sendo igualado pelo motor de

compressão de 15:1 em baixas rotações e com a razão de compressão de 11:1 em altas rotações.

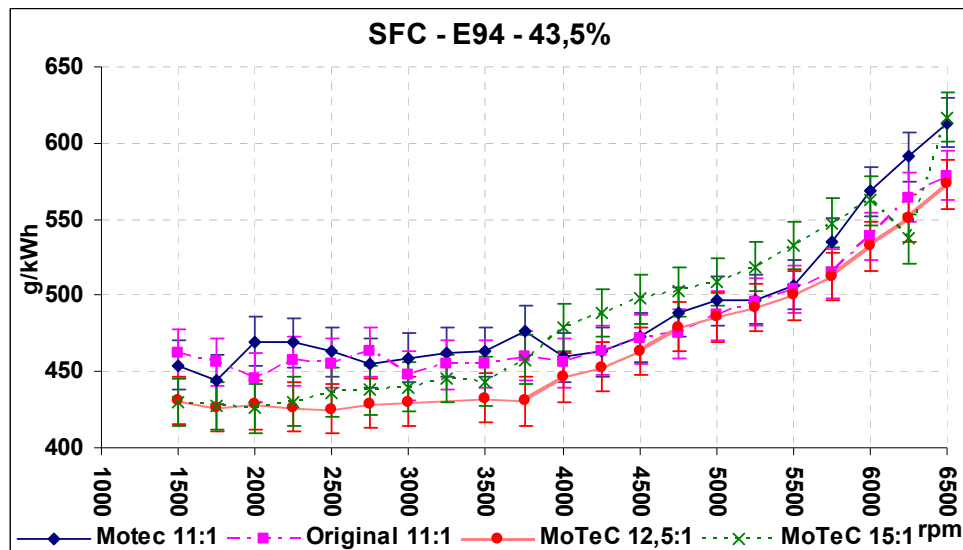


Figura 4.47: Curvas de consumo específico de álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

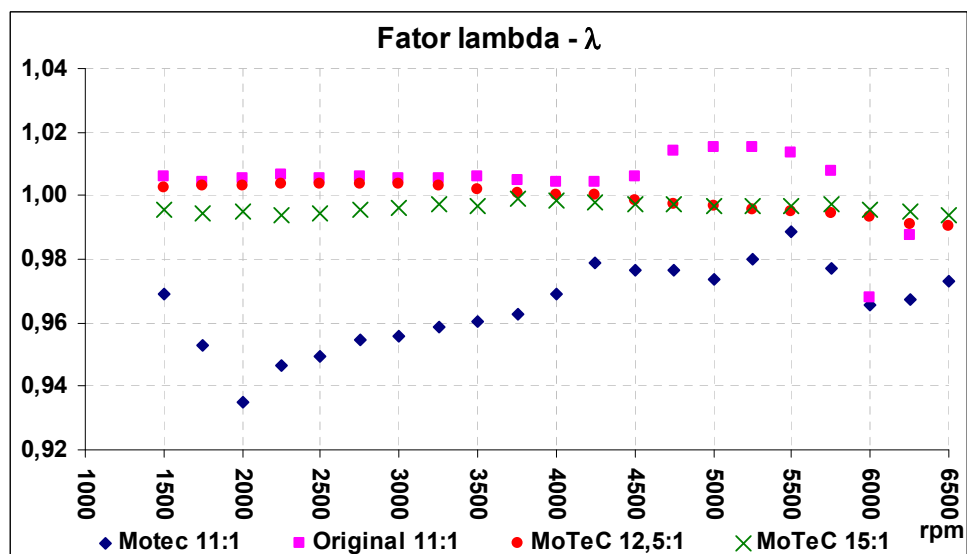


Figura 4.48: Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 43,5% de abertura da válvula borboleta.



#### 4.3.2.4. Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta

As curvas de torque corrigido (figura 4.49) mostram que o torque corrigido se reduziu com a elevação da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 e também para 15:1. O motor para a razão de compressão de 11:1, comparando-se com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, mostra o mesmo comportamento para a potência, estando as diferenças dentro das incertezas associadas ao processo, como pode se observar na Figura 4.50. O consumo específico de combustível, mostrado na figura 4.51, indicou que para a razão de compressão de 11:1 foram apresentados valores menores que para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 em rotações acima de 4000 rpm. O consumo específico de combustível para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 são iguais.

Como a sonda lambda estava habilitada e em malha fechada para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, o fator lambda (Figura 4.52) se manteve estável e igual ao estequiométrico durante toda a curva. Também não havia controle da sonda para a razão de compressão de 11:1, por isso os valores do fator lambda se mostram mais instáveis.

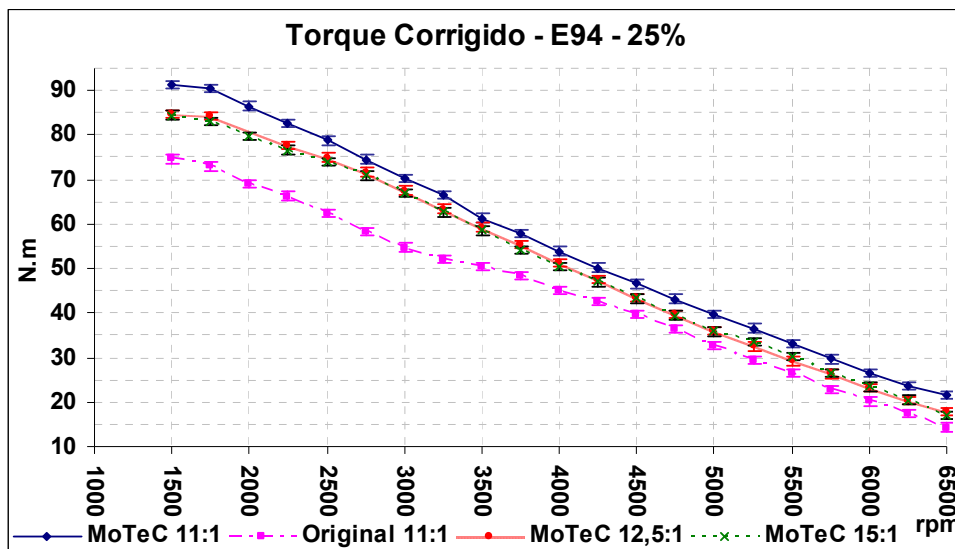


Figura 4.49: Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.

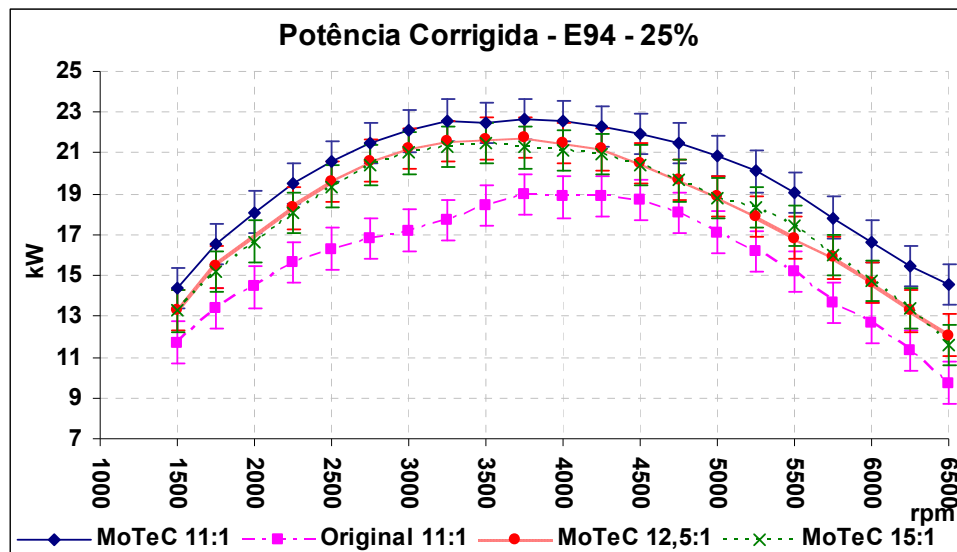


Figura 4.50: Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.

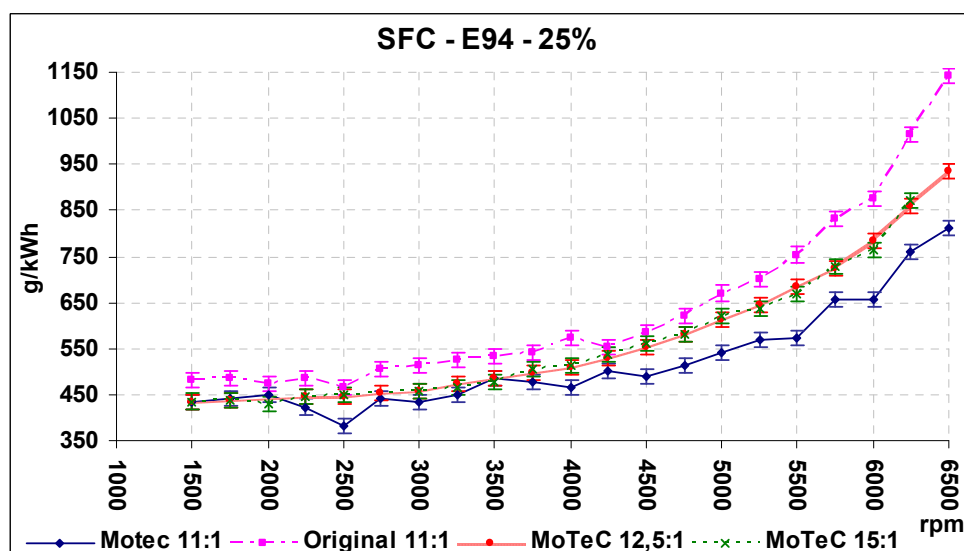


Figura 4.51: Curvas de consumo específico de álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.

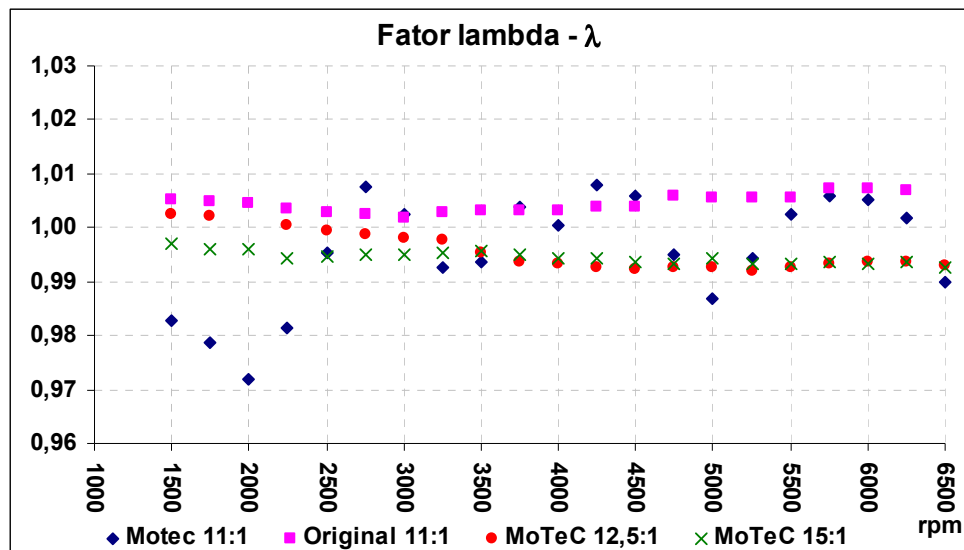


Figura 4.52: Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 25% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.2.5. Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta

O torque corrigido (figura 4.53) e a potência corrigida (figura 4.54) do motor com a razão de compressão de 11:1 se mostra bem superior as do motor com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, sendo cerca de 20% maiores em baixas e médias rotações e 40% em altas rotações. O consumo específico do motor (figura 4.55) com a razão de compressão de 11:1 é significativamente menor que o das razões de compressão de 12,5:1 e 15:1.

Como a sonda lambda estava habilitada e em malha fechada para o motor com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, o fator lambda se mantém estável no valor estequiométrico em toda a curva (figura 4.56). Não havia controle da sonda lambda para a razão de compressão de 11:1, por isso os valores do fator lambda se mostram mais instáveis.

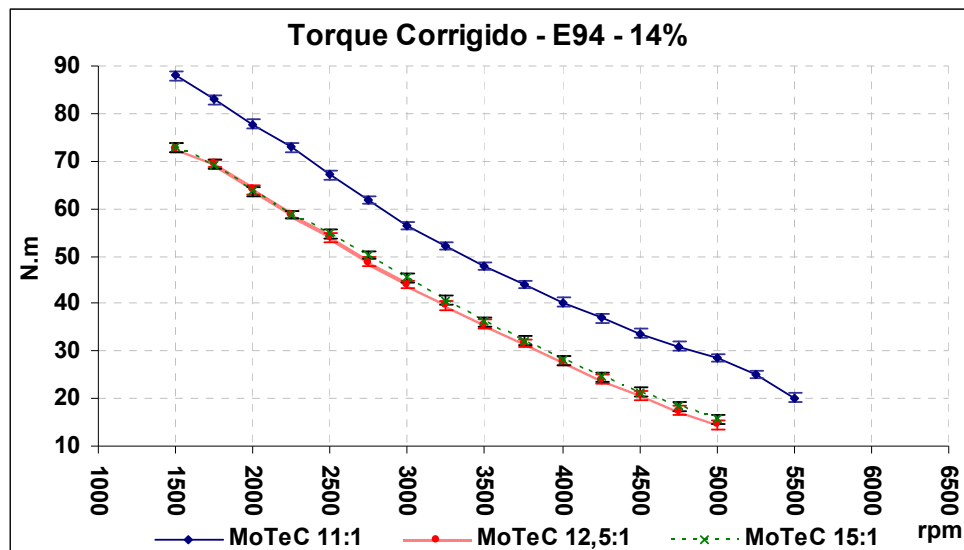


Figura 4.53: Curvas de torque corrigido para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.

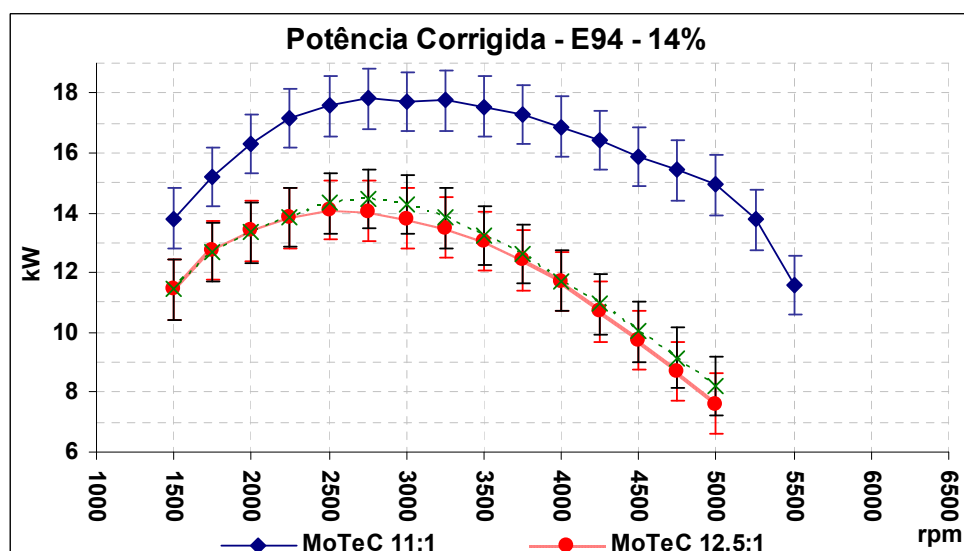


Figura 4.54: Curvas de potência corrigida para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.

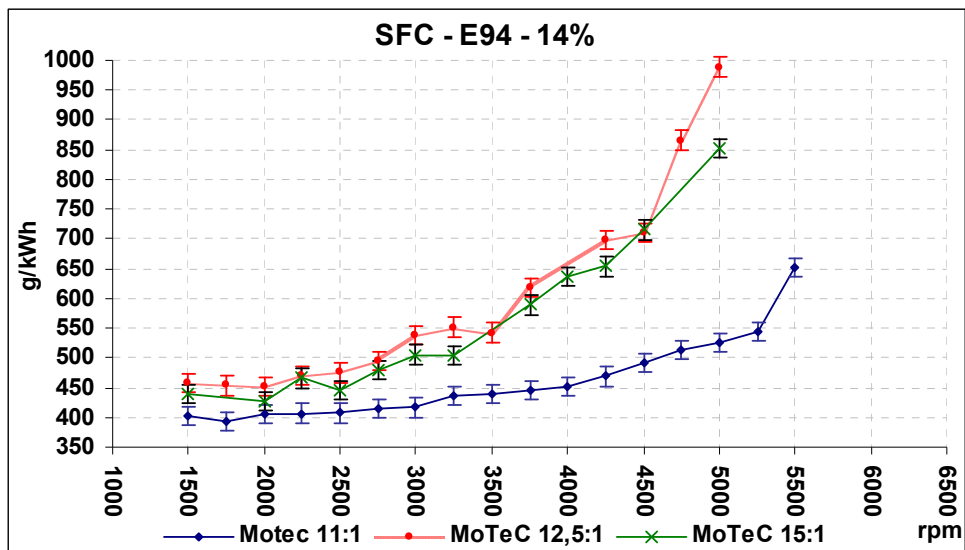


Figura 4.55: Curvas de consumo específico de álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.

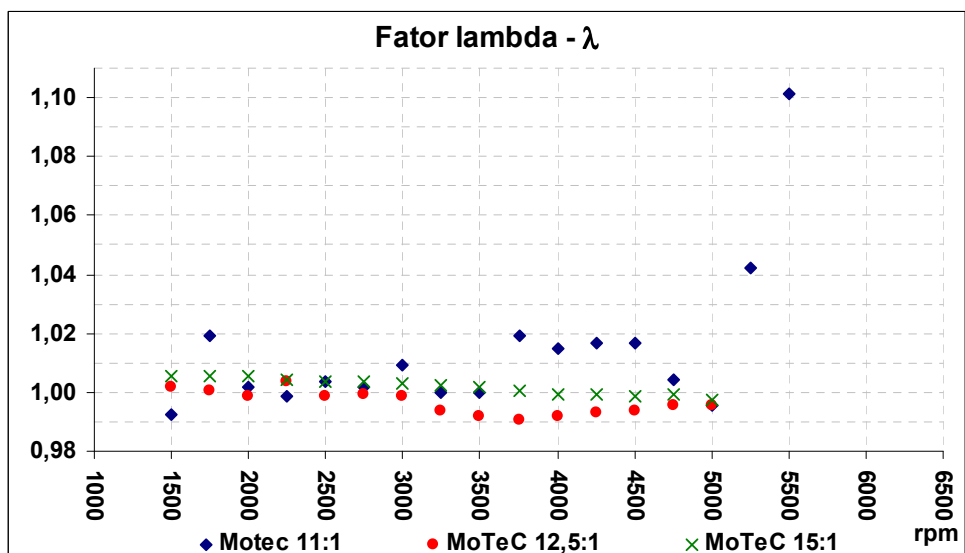


Figura 4.56: Curvas do fator lambda para o álcool etílico com 14% de abertura da válvula borboleta.

Com o motor funcionando com álcool etílico e com razão de compressão de 12,5:1, não houve melhorias no desempenho do motor. Pelo contrário, houve perda no torque e na potência do motor em praticamente todas as cargas e faixas de rotação. O mesmo

comportamento ocorreu com a razão de compressão de 15:1, porém com uma perda no torque e na potência ainda maiores que com a razão de compressão de 12,5:1. O consumo específico de combustível das razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 apresentou valores menores que os obtidos com a razão de compressão de 11:1 para médias e altas cargas. Porém, isso ocorreu por dois motivos que reduziram os valores do fator lambda e, conseqüentemente, o consumo de combustível. O primeiro foi a falta de controle da mistura pela sonda lambda. O segundo motivo foi a configuração dos parâmetros de carga EFF e LOAD como sendo uma razão MAP-BAP quando o motor estava com a razão de compressão de 11:1, já citado anteriormente.

#### **4.3.3. Resultados do motor funcionando com GMV com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.**

As curvas de desempenho do motor funcionando com GMV foram adquiridas para a calibração do motor com a UCE MoTeC M4. Para o GMV, não houve aquisição de curvas com a UCE original porque ela não é programada para o funcionamento com esse combustível.

As curvas de torque corrigido, potência corrigida, consumo específico de combustível e fator lambda com 100%, 71,5%, 43,5%, 25% e 14% de abertura da válvula borboleta apresentam as diferenças dos resultados obtidos para as calibrações feitas na UCE MoTeC M4 com as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.

##### **4.3.3.1. Resultados para plena carga – 100% de abertura da válvula borboleta**

A figura 4.57 apresenta as curvas de torque corrigido do motor funcionando com GMV para todas as razões de compressão. A elevação da razão de compressão do motor de 11:1 para 12,5:1 se mostrou efetiva, elevando o torque corrigido do motor. No entanto, a elevação da razão de compressão para 15:1 não refletiu em melhorias no torque corrigido em relação à razão de compressão de 12,5:1. Em relação à potência corrigida do motor (figura 4.58) com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, essas somente apresentaram efetiva elevação acima de 4000 rpm e 4500 rpm respectivamente, comparando-se com o motor com a razão de compressão de 11:1. Os resultados de

potência corrigida entre as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 não mostram diferenças significativas.

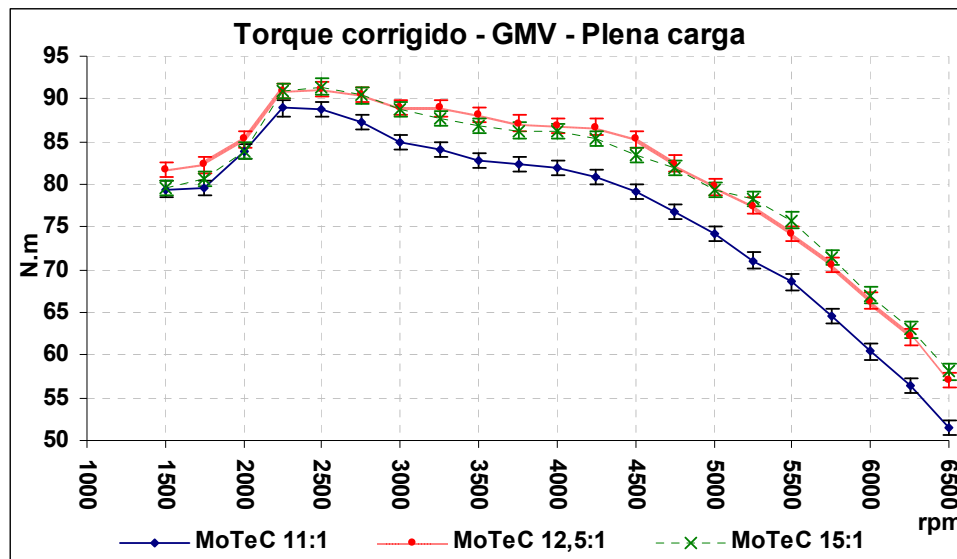


Figura 4.57: Curvas de torque corrigido para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.

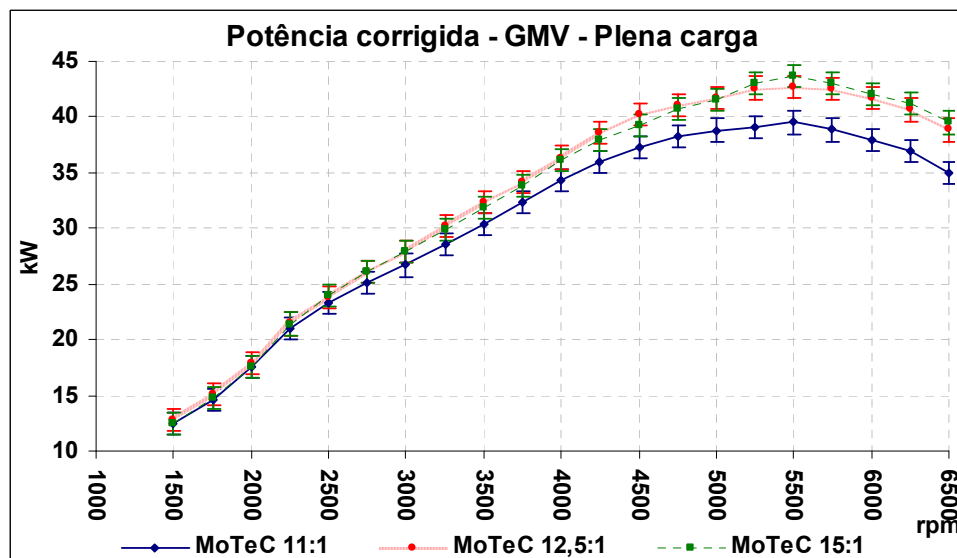


Figura 4.58: Curvas de potência corrigida para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.

De acordo com a figura 4.59, o consumo específico de combustível para as três razões de compressão são iguais, não havendo diferenças significativas com a elevação da razão de compressão para 12,5:1 e 15:1.

Devido ao controle da sonda lambda habilitada e em malha fechada para se obter mistura estequiométrica, os valores do fator lambda (Figura 4.60) são iguais e se mantiveram estáveis para todas as razões de compressão.

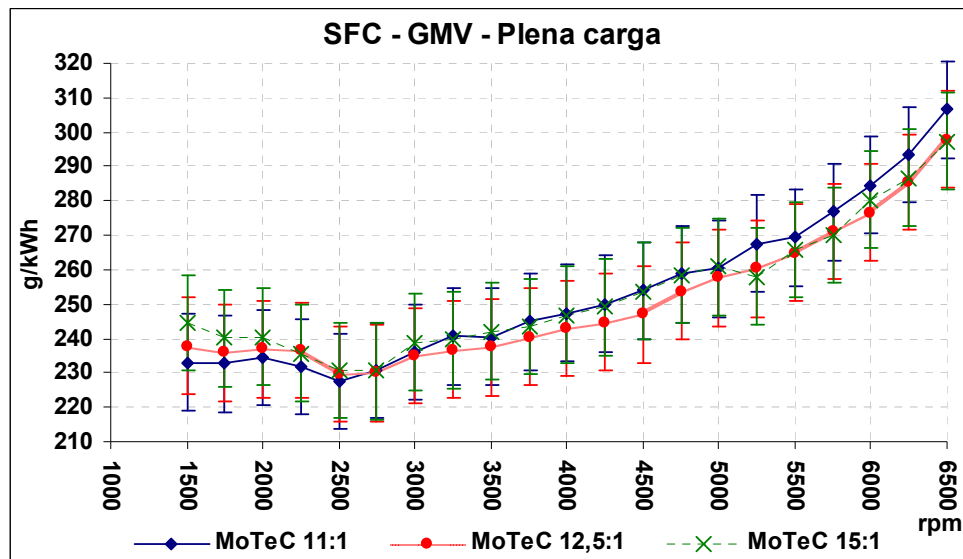


Figura 4.59: Curvas de consumo específico de GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.



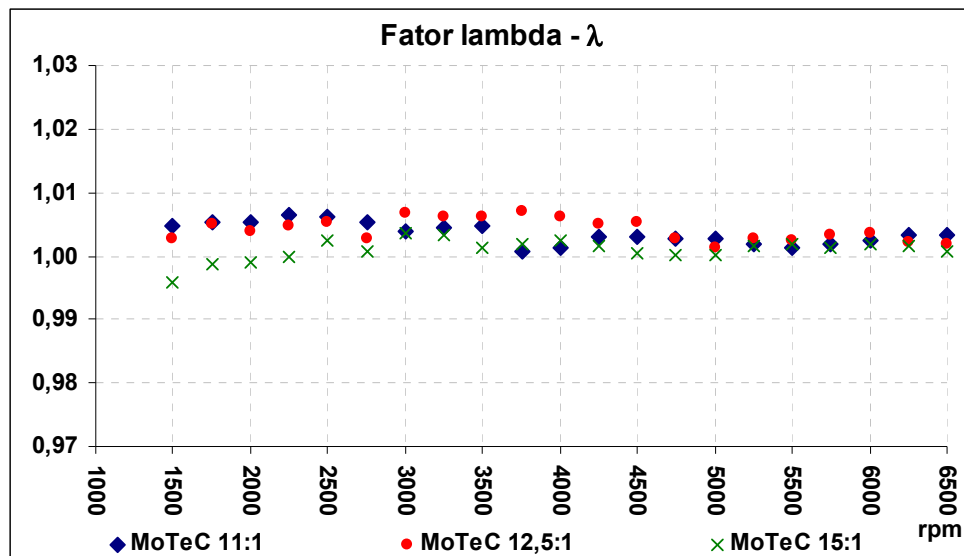


Figura 4.60: Curvas do fator lambda para o GMV com 100% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.3.2. Resultados para 71,5% de abertura da válvula borboleta

As curvas de torque corrigido, potência corrigida, consumo específico de combustível e fator lambda para 71,5% de abertura da válvula borboleta apresentam os resultados obtidos para as calibrações feitas na UCE MoTeC M4 com as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1.

Do mesmo modo que ocorreu em plena carga, com 71,5% de abertura da válvula borboleta a elevação da razão de compressão do motor de 11:1 para 12,5:1 se mostrou efetiva, elevando o torque corrigido do motor (figura 4.61). No entanto, a elevação da razão de compressão para 15:1 não refletiu em melhorias no torque corrigido em relação à razão de compressão de 12,5:1.

Em relação à potência corrigida do motor (figura 4.62) com as elevações das razões de compressão para 12,5:1 e 15:1, essas somente apresentaram efetiva elevação acima de 3250 rpm para ambas as razões, comparando-se com a razão de compressão de 11:1. Neste caso, não houve diferenças significativas entre os resultados de potência corrigida entre as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1. Observando a figura 4.75, nota-se que o consumo específico de combustível (figura 4.63) para as três razões de compressão são

iguais, não havendo diferenças significativas com a elevação da razão de compressão para 12,5:1 e 15:1.

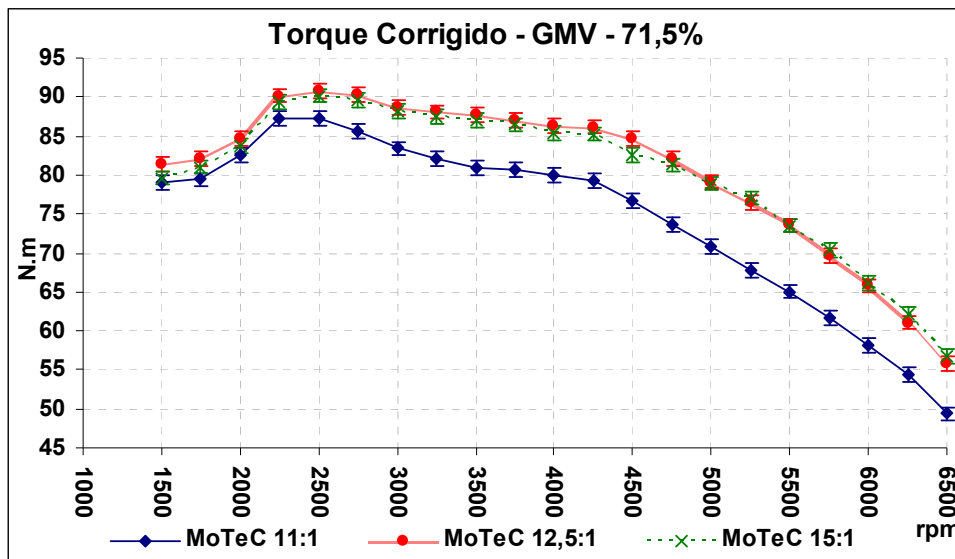


Figura 4.61: Curvas de torque corrigido para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

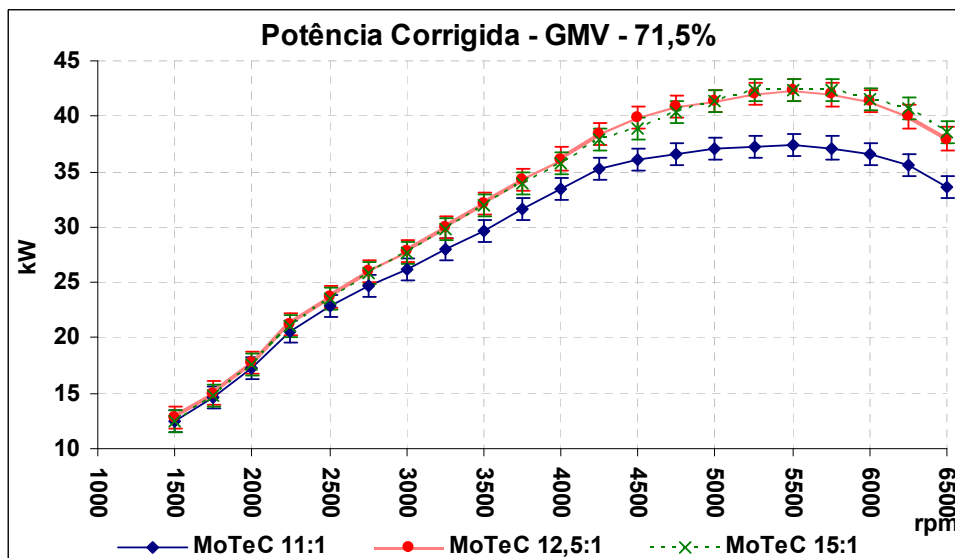


Figura 4.62: Curvas de potência corrigida para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

Devido ao controle da sonda lambda habilitado em malha fechada, para se obter mistura estequiométrica, os valores do fator lambda (figura 4.64) para todas as razões de compressão são próximos a 1,00 e se mantiveram estáveis.

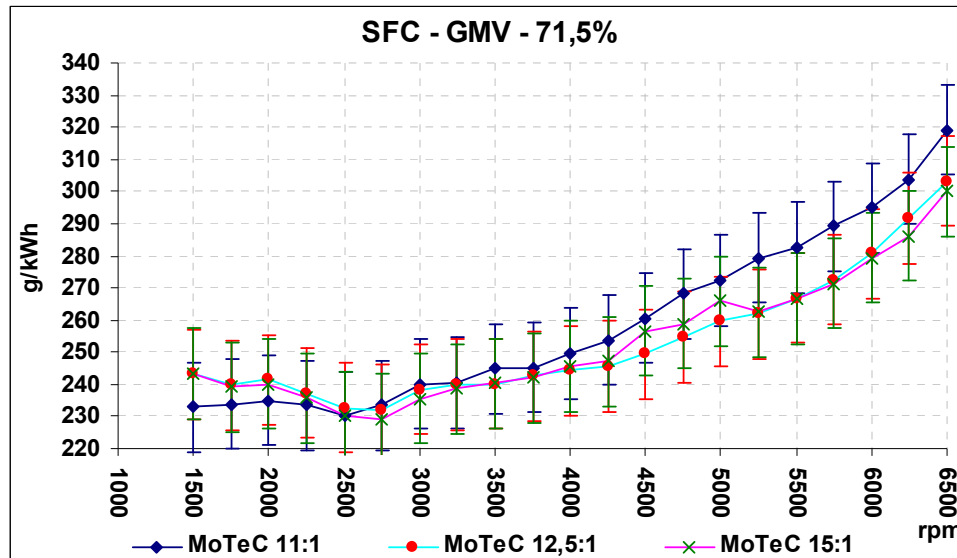


Figura 4.63: Curvas de consumo específico de GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

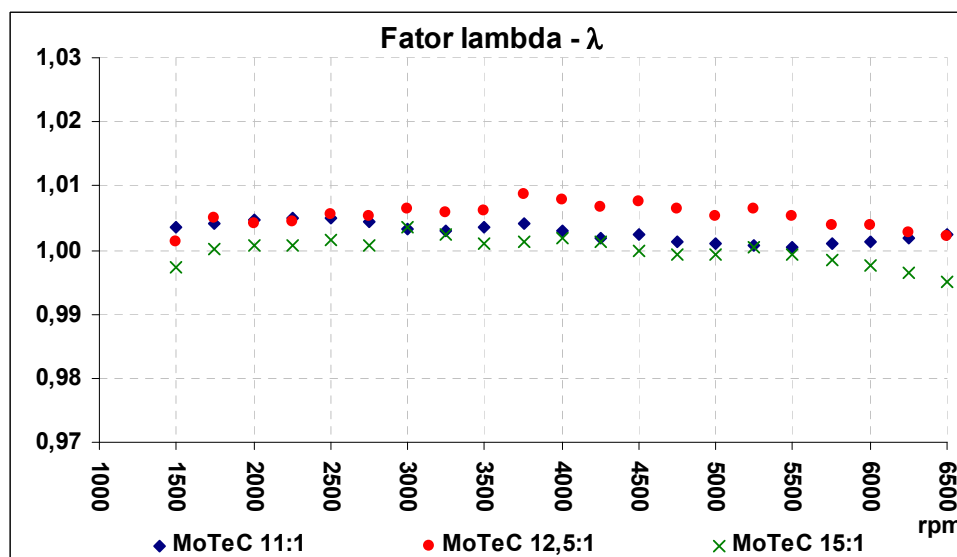


Figura 4.64: Curvas do fator lambda para o GMV com 71,5% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.3.3. Resultados para 43,5% de abertura da válvula borboleta

Com 43,5% de abertura da válvula borboleta houve aumento do torque corrigido (figura 4.65) com a elevação da razão de compressão da razão de compressão do motor de 11:1 para 12,5:1 e para 15:1. No entanto, a elevação da razão de compressão para 15:1 não refletiram em melhorias no torque corrigido em relação à razão de compressão de 12,5:1. Em relação à potência corrigida do motor (figura 4.66) com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, essas somente apresentaram efetiva elevação acima 3250 rpm para ambas as razões, comparando-se com a razão de compressão de 11:1. Nota-se que não há diferença entre os resultados de potência corrigida para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1.

O consumo específico de combustível, mostrado na figura 4.67, são iguais em baixas e médias rotações para as três razões de compressão. Em altas rotações, acima de 5750 rpm, o motor com a razão de compressão de 11:1 apresentou aumento no consumo específico de combustível. No entanto, não houve aumento com a elevação da razão de compressão de 12,5:1 para 15:1.

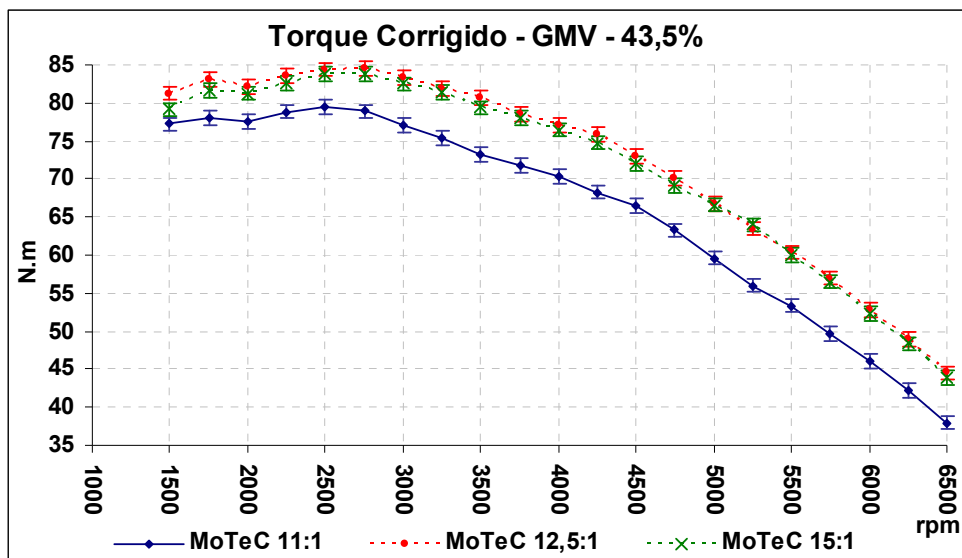


Figura 4.65: Curvas de torque corrigido para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

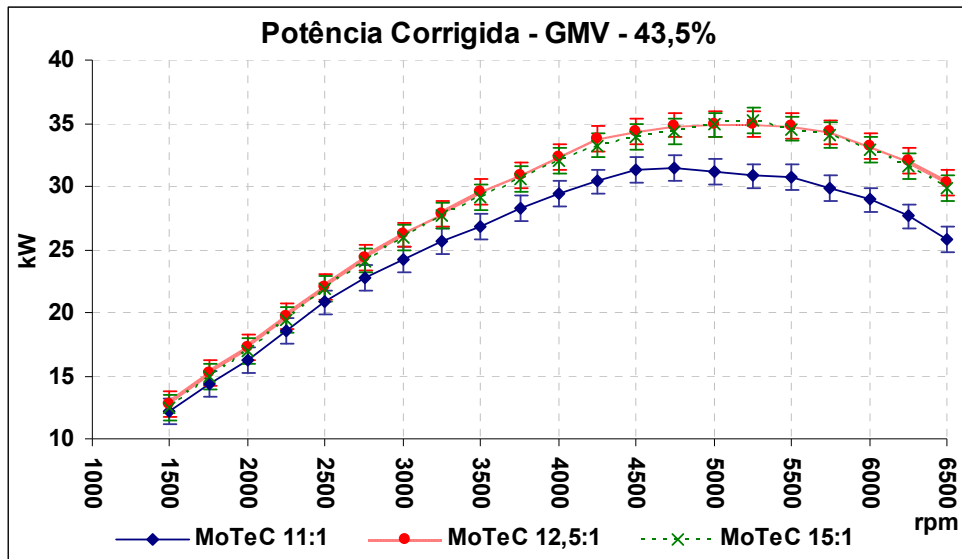


Figura 4.66: Curvas de potência corrigida para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta

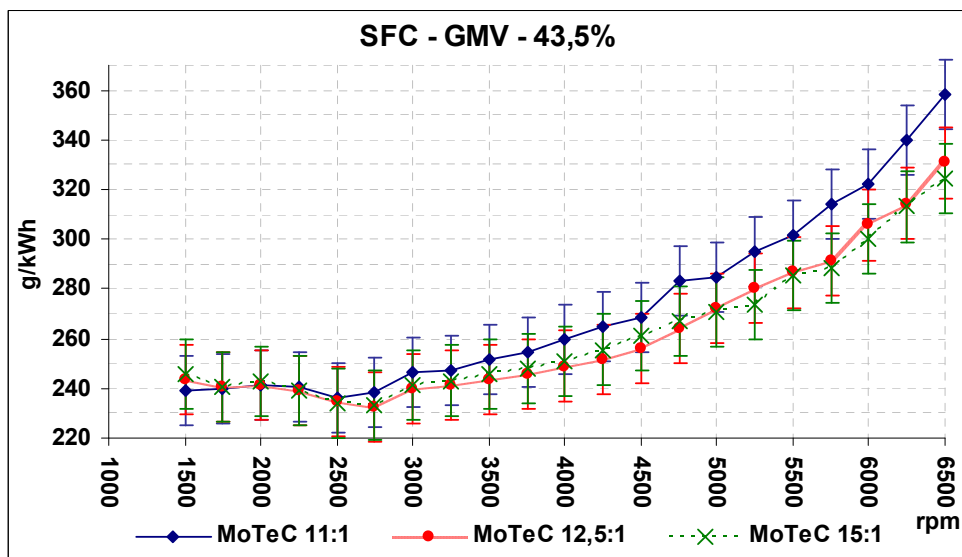


Figura 4.67: Curvas de consumo específico de GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

Os valores do fator lambda para todas as razões de compressão são iguais e se mantiveram estáveis devido ao controle da sonda lambda estar habilitada e em malha fechada para se obter mistura estequiométrica, como mostrado na figura 4.68.

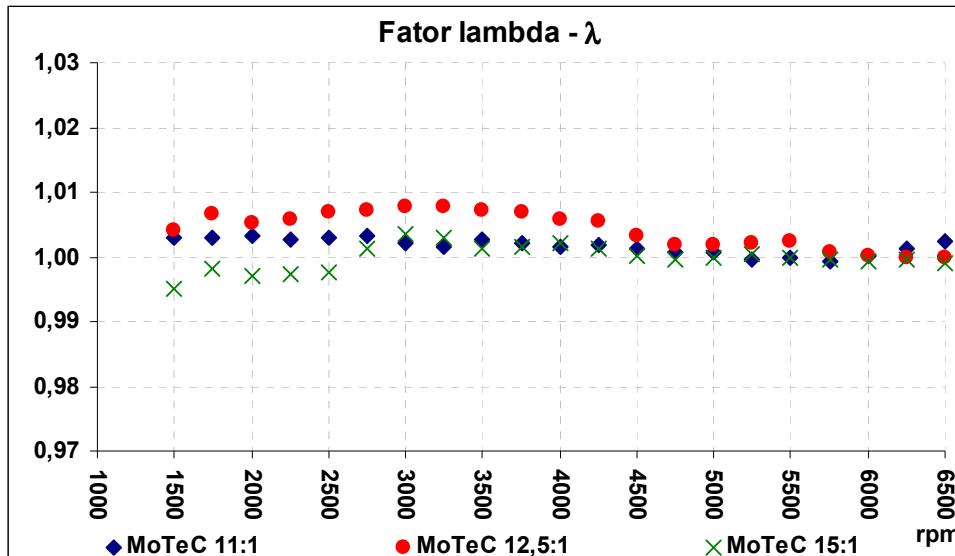


Figura 4.68: Curvas do fator lambda para o GMV com 43,5% de abertura da válvula borboleta.

#### 4.3.3.4. Resultados para 25% de abertura da válvula borboleta

Com 25% de abertura da válvula borboleta houve aumento do torque corrigido (figura 4.69) com a elevação da razão de compressão do motor de 11:1 para 12,5:1 e para 15:1. estes valores se mantêm iguais para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1.

Em relação à potência corrigida do motor (figura 4.70) com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, somente apresentaram efetiva elevação acima de 3250 rpm e 4250 rpm respectivamente, comparando-se com o motor com a razão de compressão de 11:1. Não houve diferença entre os resultados de potência corrigida para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, exceto na rotação de 6500 rpm a qual somente foi alcançada pelo motor com a razão de compressão de 15:1. Com a razão de compressão de 11: 1, o motor também foi limitado em 6000 rpm por não atingir uma potência mínima para a medição no dinamômetro.

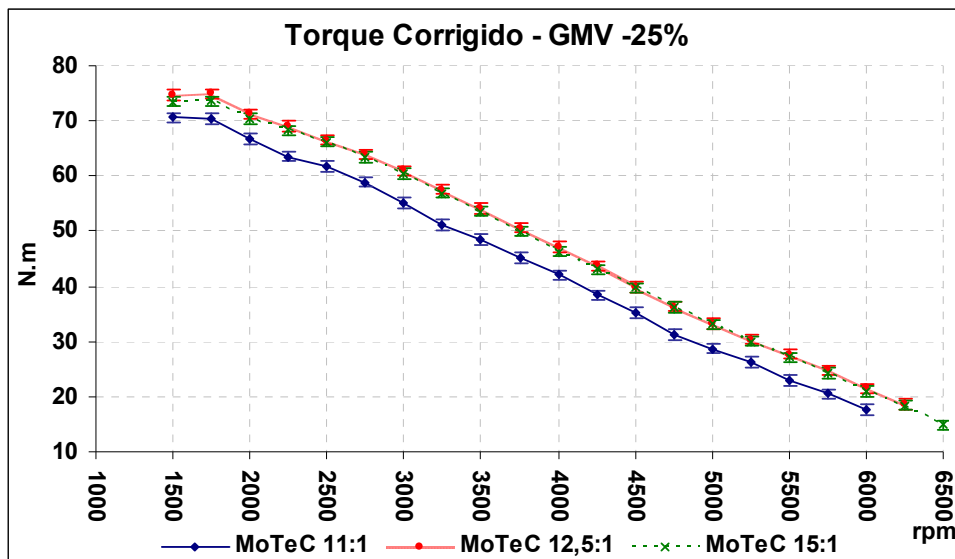


Figura 4.69: Curvas de torque corrigido para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.

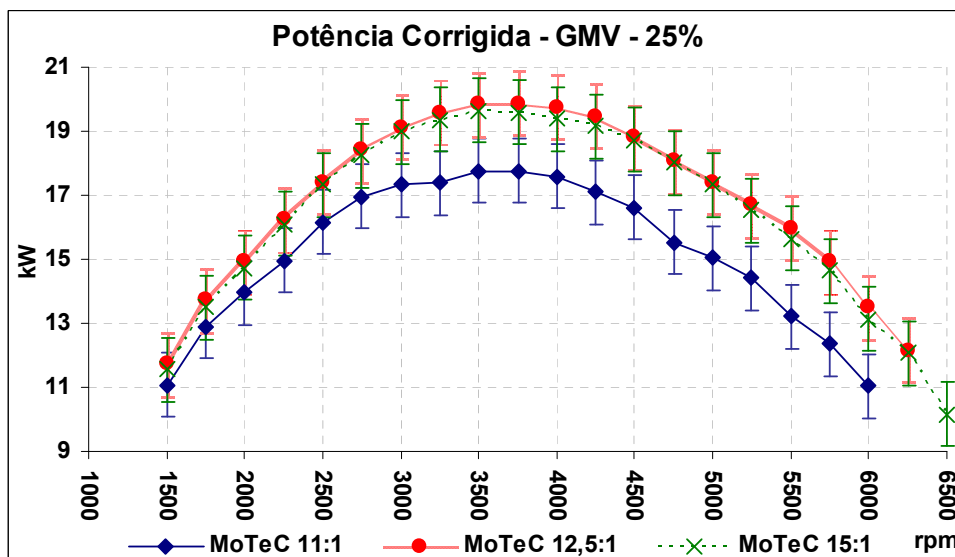


Figura 4.70: Curvas de potência corrigida para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.

O consumo específico de combustível, mostrado na figura 4.71, para a razão de compressão de 11:1 foi menor do que as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 a partir

de 4750 rpm. No entanto, não houve aumento com a elevação da razão de compressão de 12,5:1 para 15:1.

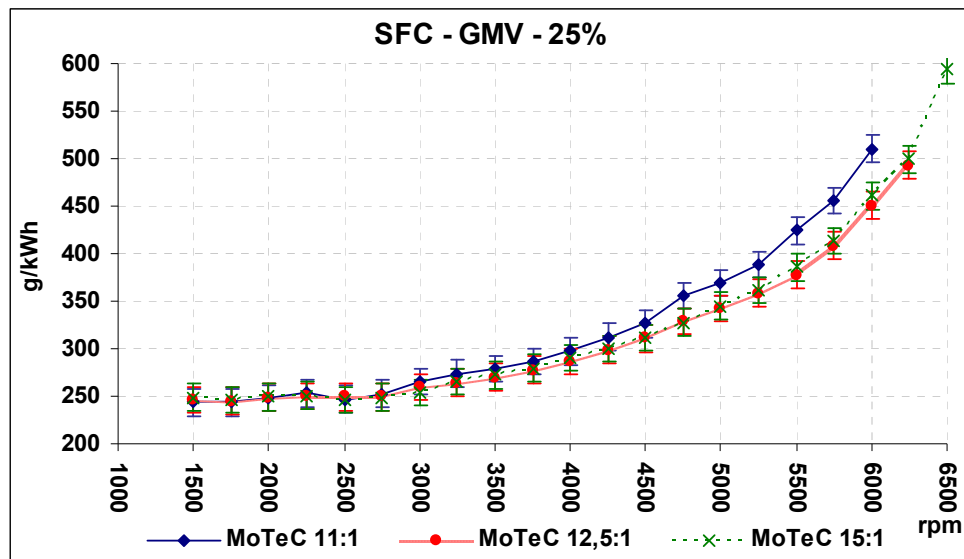


Figura 4.71: Curvas de consumo específico de GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.

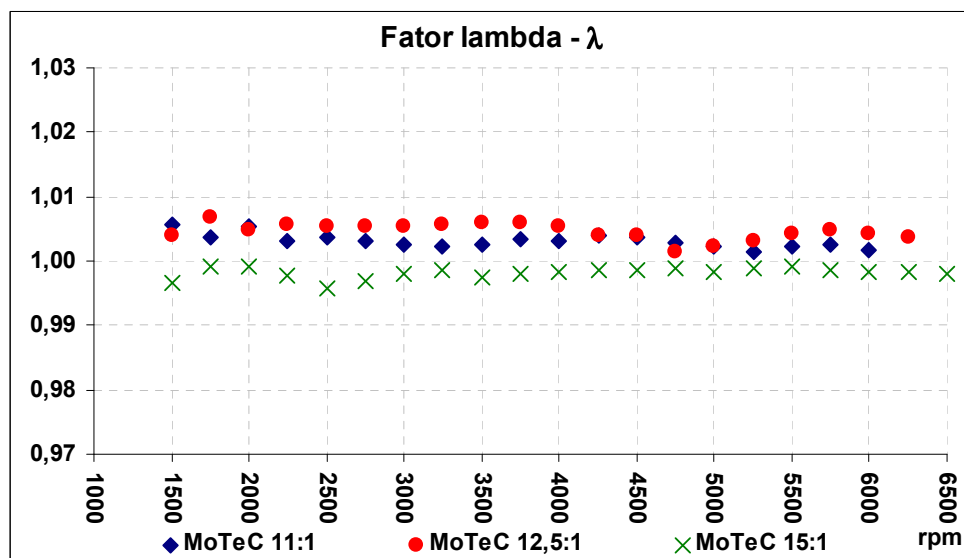


Figura 4.72: Curvas do fator lambda para o GMV com 25% de abertura da válvula borboleta.



Devido ao controle da sonda lambda habilitado em malha fechada para se obter mistura estequiométrica, os valores do fator lambda para todas as razões de compressão são iguais e se mantiveram estáveis como mostra a Figura 4.72.

#### 4.3.3.5. Resultados para 14% de abertura da válvula borboleta

A elevação da razão de compressão do motor de 11:1 para 12,5:1 e para 15:1 com 14% de abertura da válvula borboleta causou um aumento do torque corrigido (figura 4.73). No entanto, a elevação da razão de compressão para 15:1 não refletiu em melhorias no torque corrigido em relação à razão de compressão de 12,5:1. A potência corrigida do motor (figura 4.74) com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 não foram maiores, comparando-se com o motor com a razão de compressão de 11:1. Não houve diferença entre os resultados de potência corrigida para as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1, exceto na rotação de 5000 rpm a qual somente foi alcançada pelo motor com a razão de compressão de 15:1. Com a razão de compressão de 11:1, o motor foi limitado em 4500 rpm também por falta de obtenção de um valor mínimo de potência.

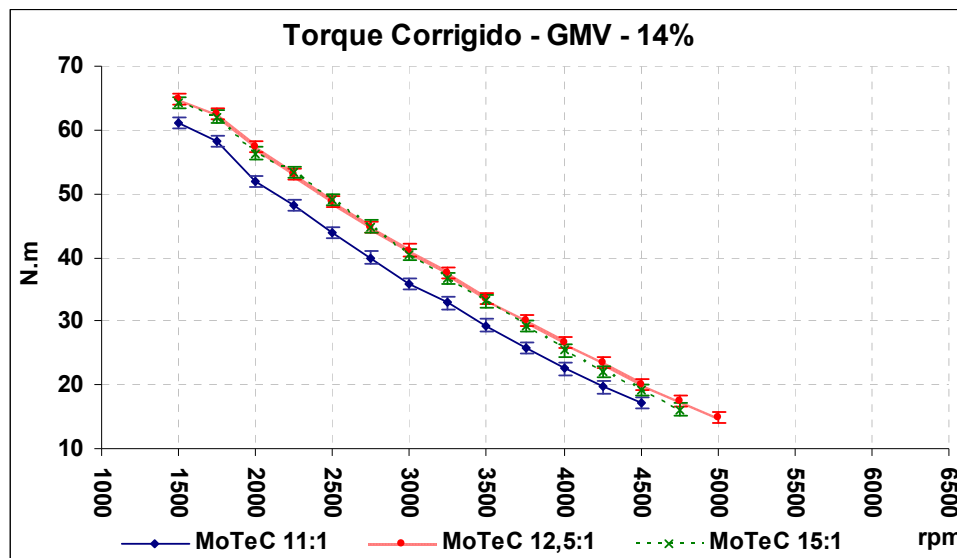


Figura 4.73: Curvas de torque corrigido para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.

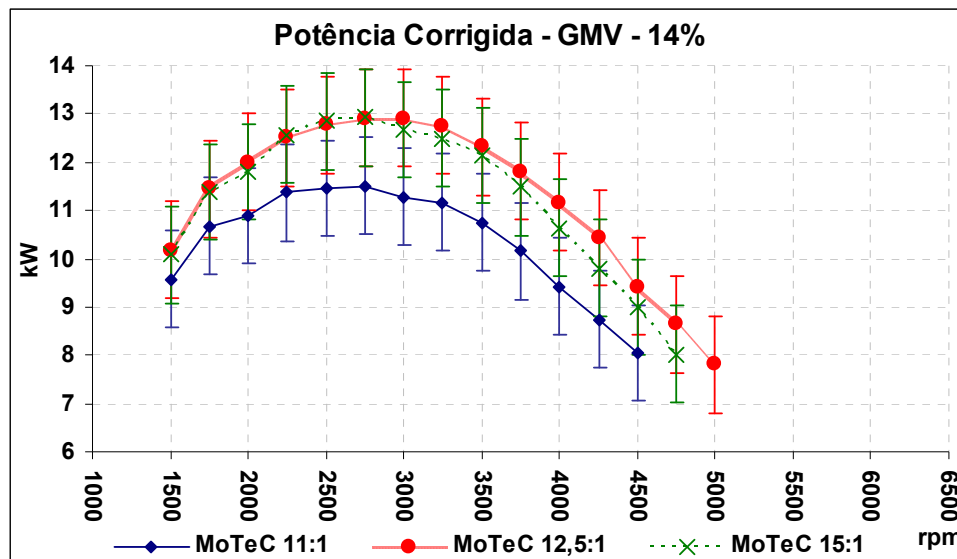


Figura 4.74: Curvas de potência corrigida para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.

O consumo específico de combustível (figura 4.75) para a razão de compressão de 11:1 foi menor do que as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 a partir de 3250 e 4000 rpm, respectivamente. A partir de 4250 rpm, o motor com a razão de compressão de 12,5:1 se mostra com o consumo específico também superior ao com a razão de compressão de 15:1.

Devido ao controle da sonda lambda habilitada e em malha fechada para se obter mistura estequiométrica, os valores do fator lambda (figura 4.76) para todas as razões de compressão são iguais e se mantiveram estáveis.

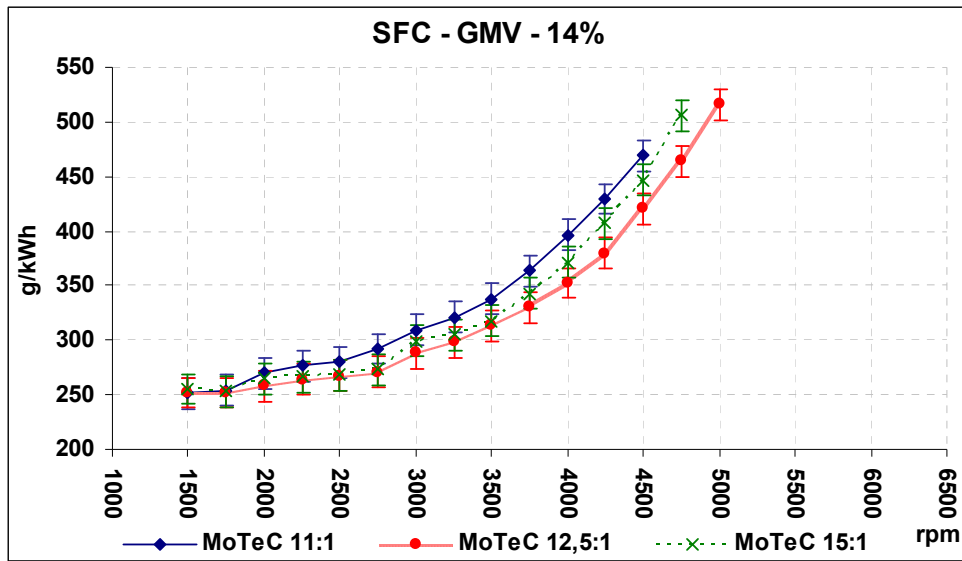


Figura 4.75: Curvas de consumo específico de GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.

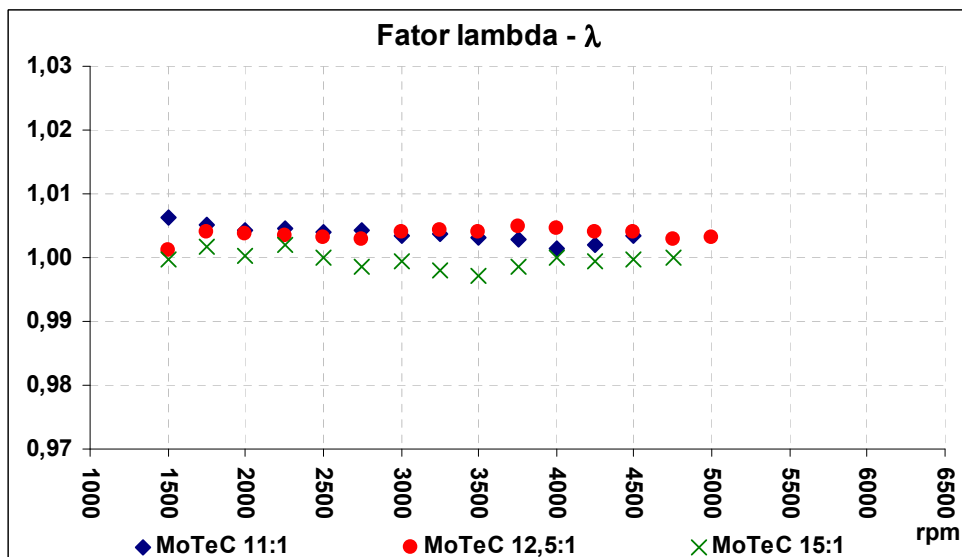


Figura 4.76: Curvas do fator lambda para o GMV com 14% de abertura da válvula borboleta.

Nota-se através dos resultados obtidos para o GMV, que a elevação da razão de compressão para 12,5:1 e para 15:1 elevou o torque e a potência e reduziu o consumo

específico do motor, principalmente em baixas cargas, abaixo de 43,5% de abertura da válvula borboleta. Isso é o resultado do melhor aproveitamento do GMV em maiores razões de compressão do que as usadas nos motores multicomcombustíveis. Porém, não houve melhoria na elevação da razão de compressão de 15:1 em relação à razão de compressão de 12,5:1, como era esperado, pois esse combustível suporta maiores razões de compressão. Isso pode ter ocorrido por causa da alteração da geometria da câmara pelo uso do jogo de pistões de 15:1, que possui uma grande quantidade de material adicionado na parte superior do pistão para a redução do volume da câmara de combustão.

#### 4.4. Eficiência Volumétrica do motor

Testes para se obter as curvas de eficiência volumétrica foram realizados com o GMV para todas razões de compressão utilizadas nesse trabalho a fim de comparar os efeitos da elevação da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 e 15:1. Como se pode observar na figura 4.77, a eficiência volumétrica do motor multicomcombustível não se altera com a elevação da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 e 15:1. Com isso, verificou-se que não havia a necessidade de alteração do diagrama de válvulas ou do eixo comando de válvulas original do motor.

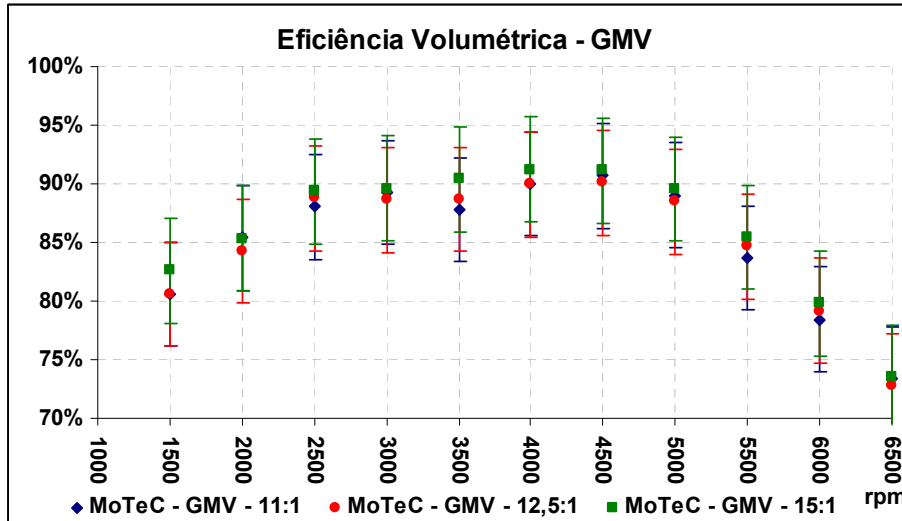


Figura 4.77: Curvas de eficiência volumétrica do motor a plena carga funcionando com GMV.

#### 4.5. Análise Global dos resultados

As curvas obtidas nos testes experimentais comparam o desempenho obtido pelo motor multicomcombustível para a gasolina, o álcool etílico e o GMV em diferentes razões de compressão. Através desses resultados, pôde-se avaliar as melhorias que podem ser obtidas elevando-se a pressão interna dentro do cilindro do motor.

Nota-se pelos resultados obtidos, que houve redução no torque e na potência do motor funcionando a gasolina e a álcool etílico com a elevação da razão de compressão para 12,5:1 e para 15:1, no caso do álcool etílico. Essas reduções no desempenho do motor não justificam o aumento da razão de compressão a fim de se obter melhores resultados para o motor multicomcombustível com maiores razões de compressão.

Com o GMV, foram obtidos melhores resultados em termos de desempenho com o motor funcionando com as razões de compressão elevadas. No entanto, o resultado obtido para a razão de compressão de 15:1 não foi melhor que aquele com a razão de 12,5:1. Isso pode ter ocorrido em função da alteração da geometria da câmara de combustão causada pelos pistões de 15:1.

Os mapas de avanço mostram as reduções nos avanços de ignição ocasionados pelo surgimento de detonação com razões de compressão maiores. Porém, a redução nos avanços de ignição para o motor funcionando com álcool etílico e GMV com as razões de compressão de 12,5:1 e 15:1 não se mostraram elevadas, ficando próximas e até superiores aos avanços de ignição obtidos na calibração da UCE para a gasolina com a razão de compressão original do motor. Isso mostra que a elevação da pressão interna no cilindro para o álcool etílico e para o GMV através do uso de um turbocompressor, como é proposto pelo engenheiro José Guilherme Coelho Baeta em seu projeto de doutorado (BAETA, 2004c) a ser desenvolvida com base neste trabalho, é possível. O turbocompressor trabalha com maiores pressões internas do cilindro devido ao aumento da quantidade de mistura introduzida no cilindro pela sobrealimentação, o que poderá aumentar o desempenho do motor, pois os valores dos avanços de ignição foram reduzidos com o aumento da pressão interna no cilindro pelo aumento da razão de compressão, mas ficaram em patamares similares aos da gasolina com a razão de compressão de 11:1.

Não foi utilizado, neste trabalho, controle auto-adaptativo para correção da mistura em relação à variação das condições ambientais, exceto a sonda lambda. A sonda lambda não foi habilitada para o controle da mistura em malha fechada para o motor funcionando com a gasolina e o álcool etílico com a razão de compressão de 11:1. Nos demais testes, a sonda foi habilitada. A sonda lambda utilizada foi do tipo “narrow band”, que somente controla a mistura em malha fechada para o fator lambda estequiométrico. As calibrações das tabelas de tempo de injeção de combustível foram realizadas com as condições ambientais distintas dos dias nos quais foram obtidas as curvas do motor. Esse fato causou pequenas alterações nos valores do fator lambda configurados na calibração quando não havia a sonda lambda operando em malha fechada. Isso somente ocorreu para os combustíveis líquidos, porque todo o mapa de combustível para o motor funcionando com GMV foi calibrado para obtenção de mistura estequiométrica com a sonda lambda operando em malha fechada. Nota-se que, nas curvas do fator lambda obtidas com o uso da sonda lambda habilitada e em malha fechada, os valores do fator lambda ficaram estáveis. A utilização de uma sonda lambda do tipo “wide band”, que controla o valor do fator lambda para qualquer tipo de mistura desejada, seja ela rica, estequiométrica ou pobre, melhoraria a qualidade dos dados. No entanto, não havia a disponibilidade deste tipo de sonda lambda para este trabalho, pois ela necessita ser importada.

As eficiências volumétricas do motor para as três razões de compressão se mantiveram iguais, o que mostra que a elevação da razão de compressão do motor através da troca do jogo de pistões não alterou a eficiência volumétrica e não gerou a necessidade de alteração do diagrama de válvula do motor. Esse resultado mostra que as curvas obtidas para o motor foram realizadas para a mesma condição de funcionamento em relação à eficiência volumétrica do motor.

## 5 - CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho referem-se aos resultados obtidos dos testes experimentais com o motor multicomcombustível funcionando com gasolina, álcool etílico e GMV - gás metano veicular - para as razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1. Esses resultados são os mapas de tempo de injeção de combustível, mapas de avanço de ignição e as curvas de torque, potência, consumo específico e valores de lambda para as razões de compressão acima mencionadas. Também é realizada uma análise sobre a metodologia aplicada à calibração da UCE.

Analisando os mapas de combustível obtidos nesta pesquisa, nota-se que a eficiência volumétrica e consumo de combustível por ciclo não se alteram com a elevação da razão de compressão. Verifica-se também que, para o GMV, os mapas foram calibrados com lambda estequiométrico em toda faixa de rotação e que a eficiência volumétrica não se comporta linearmente em relação à abertura da válvula borboleta.

Os mapas mostram que os avanços de ignição se reduziram a medida que a razão de compressão do motor foi aumentada. No caso da gasolina, como a razão de compressão de 11:1 já é alta, a elevação da razão de compressão para 12,5:1 causou uma redução acentuada nos avanços, elevação acentuada da temperatura dos gases de descarga, necessidade de enriquecimento maior da mistura em cargas elevadas e redução no desempenho do motor, mostrando que esta razão de compressão não é apropriada para o funcionamento com gasolina. Nos casos do álcool etílico e do GMV, também houve redução do avanço com o aumento da razão de compressão para 12,5:1 e 15:1 para evitar a detonação. No entanto, esses combustíveis suportam maiores pressões e os seus valores de avanço de ignição para a razão de compressão de 15:1, apesar de serem menores dos que os obtidos com a razão de compressão de 11:1, ficaram iguais ou maiores que os obtidos para a gasolina com a razão de compressão também de 11:1. Conclui-se com isso, que o aumento da pressão interna no cilindro para o GMV e o álcool etílico, através do uso de um turbocompressor, é tecnicamente viável. Isso porque os valores de avanço de ignição, mesmo para pressões elevadas, se mantêm em patamares aceitáveis de uso que podem oferecer um bom rendimento para o motor,

considerando que os ganhos de desempenho com a sobrealimentação são causados também pelo aumento da eficiência volumétrica, o que leva também ao aumento da pressão interna dentro do cilindro. No caso da elevação da razão de compressão, apenas a pressão interna no cilindro é elevada, porém em patamares mais baixos.

As curvas obtidas com o motor funcionando com gasolina para a razão de compressão de 12,5:1 refletiram em uma significativa perda de torque e potência em relação a razão de compressão de 11:1. Pode-se ver, através dos mapas de avanço de ignição, que essa perda é devido a uma considerável redução nos avanços para essa razão de compressão, devido ao surgimento de detonação, que impede avanços maiores. O motor funcionando a gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 gerou a necessidade de se trabalhar com mistura rica já a partir de 40% de abertura da borboleta e rotações intermediárias e altas (acima de 4000 rpm) porque houve elevação extrema da temperatura dos gases de descarga em regiões do mapa onde se trabalha normalmente com mistura estequiométrica com menores razões de compressão. Usa-se uma mistura mais rica nesse tipo de situação para diminuir a temperatura no interior do cilindro e, conseqüentemente, diminuir a temperatura dos gases de descarga. Porém, isso causa elevação no consumo de combustível. Portanto, devido a esses fatos, não há melhorias no desempenho do motor multicomcombustível com a elevação da razão de compressão para 12,5:1 com gasolina.

Funcionando com álcool etílico, o motor multicomcombustível também não apresentou melhorias no torque e na potência com o aumento da razão de compressão para 12,5:1 em todas as cargas. Os consumos específicos com 100%, 25% e 14% de carga apresentaram-se maiores para essa razão de compressão. Com 71,5% e 43,5% de carga não se pode comparar os consumos específicos, pois com a razão de compressão de 11:1 não foi possível controlar o valor de lambda. Com isso conclui-se que os resultados apresentados com a razão de compressão de 12,5:1 são inferiores aos com a razão de compressão de 11:1.

Com a razão de compressão de 15:1, o motor flexível funcionando com álcool etílico também apresentou uma queda em termos de desempenho, ou seja, torque e potência inferiores ao da razão de compressão de 11:1. Esse comportamento ocorreu em todas as cargas avaliadas e em todas as faixas de rotação. O surgimento de detonação limitou



todo o mapa de avanço de ignição, não permitindo o melhor aproveitamento da combustão do álcool etílico. Isso refletiu no torque e na potência, reduzindo-os e elevando o SFC quando comparado com os obtidos com a razão de compressão de 11:1. No entanto, mesmo com a razão de compressão muito elevada para o álcool etílico, não houve problemas com elevação de temperatura dos gases de descarga, não havendo a necessidade de se enriquecer a mistura. Comparando-se com a razão de compressão de 12,5:1, o motor com razão de compressão de 15:1 também apresentou perda no desempenho com abertura de borboleta acima de 43,5%, mostrando uma redução do torque e da potência em praticamente toda a faixa de rotação. Com abertura da válvula borboleta inferior a 25%, os resultados obtidos de torque e potência se mostraram praticamente iguais aos obtidos com o motor com a razão de compressão de 12,5:1. Portanto, a elevação da razão de compressão do motor multicomcombustível de 11:1 para 15:1, para o motor funcionando com álcool etílico, não mostrou melhorias no torque, na potência e no consumo específico de combustível.

O aumento da razão de compressão do motor multicomcombustível de 11:1 para 12,5:1 utilizando o GMV mostrou um aumento no torque e na potência do motor, reduzindo o consumo específico para todas as cargas e em praticamente todas as rotações. Essa melhora no desempenho do motor é notada em todas as cargas, sendo maior em cargas inferiores, abaixo de 43,5% de abertura da válvula borboleta. Os avanços de ignição do motor funcionando com GMV com 12,5:1 de razão de compressão se reduzem em relação aos avanços obtidos com 11:1, porém são mantidos em patamares que não limitam o desempenho do motor. Já o aumento da razão de compressão para 15:1 não obteve os resultados esperados, de melhora de desempenho e consumo específico, em relação ao motor com a relação de compressão de 12,5:1, obtendo-se resultados bem próximos. Isso pode ser atribuído à geometria da câmara de combustão que foi drasticamente alterada com o uso dos jogos de pistão para a razão de compressão de 15:1, o que alterou as características da queima, reduzindo o desempenho, pois esses pistões possuem um grande acréscimo de material no topo do pistão para se reduzir o volume da câmara de combustão. Os pistões para a razão de compressão de 12,5:1 possuem uma adição de material, porém o ressaltado é menor, não prejudicando a combustão. Esperava-se que o desempenho do motor com a razão de compressão mais alta fosse melhor para o GMV, pois esse combustível suporta maiores razões de

compressão sem o surgimento prematuro de detonação em relação aos avanços de ignição. Porém o desempenho foi prejudicado devido à alteração da geometria da câmara de combustão. Através do mapa de avanço de ignição da UCE para o GMV com a razão de compressão de 15:1, vê-se que houve redução nos avanços em relação aos avanços conseguido com a razão de compressão de 12,5:1, porém estes avanços não são tão reduzidos a ponto de prejudicar o desempenho do motor, como ocorreu com o motor funcionando com álcool etílico para a mesma razão de compressão. Conclui-se então, que a elevação da pressão interna da câmara de combustão através da elevação da razão de compressão de 11:1 para 12,5:1 pode ser utilizada para o melhor aproveitamento do GMV. Conclui-se também, que a elevação da razão de compressão para 15:1 também aumenta o torque e a potência do motor multicomcombustível e reduz o consumo específico em relação ao motor com a razão de compressão de 11:1. Porém, essa melhoria no desempenho foi prejudicada pela alteração da geometria da câmara de combustão, como discutido anteriormente. Um jogo de pistões que elevem a razão de compressão para 15:1, porém, mantendo a mesma geometria da câmara do motor original, pode melhorar ainda mais as curvas de desempenho e consumo específico do motor em relação ao desempenho com a razão de compressão de 12,5:1.

Analisando os resultados de desempenho do motor com a UCE MoTeC M4 e com a UCE original com gasolina para a razão de compressão de 11:1, pode-se concluir que para o caso do torque, potência e consumo específico, os resultados são bem próximos para altas cargas (acima de 43,5% de abertura de borboleta). Em cargas mais baixas, 25% e 14% de abertura da válvula borboleta, a calibração realizada na UCE MoTeC M4 atinge melhores resultados, sendo superiores aos obtidos com a calibração original. Funcionando com o álcool etílico, se conseguem melhorias no desempenho do motor em todas as cargas com a calibração da UCE MoTeC M4 em relação a calibração da UCE original. Com esses resultados, vê-se que a metodologia usada para a calibração da UCE programável (MoTeC M4) elaborada por BAETA (2004a) é extremamente válida para esse trabalho, que tem como objetivo da calibração obter o maior torque possível para cada combustível. Contudo, não foi realizada nessa calibração uma avaliação das condições de dirigibilidade e nem emissões de poluentes.

Ainda em relação à metodologia de calibração, a utilização dos parâmetros de carga para os mapas de combustível e avanço, EFF e LOAD, em função da porcentagem de abertura da válvula borboleta ao invés de serem uma razão MAP-BAP como foram configurados nas calibrações da UCE MoTeC M4 para gasolina e para o álcool etílico com razão de compressão de 11:1, facilita a calibração e possibilita um controle mais adequado dos valores de lambda para o sistema de controle utilizado. A calibração feita usando-se a porcentagem de abertura da válvula borboleta permite uma maior sensibilidade do controle da mistura em plena carga.

Observa-se que nesse motor, o valor de MAP é máximo já em cargas parciais variando com a rotação, porém, a necessidade de uso de uma mistura rica, com valores de lambda entre 0,93 e 0,98, aparece pela necessidade de redução da temperatura dos gases de descarga ou pela solicitação de torque e potência por parte do condutor. O enriquecimento gradativo da mistura em cargas acima da qual a eficiência volumétrica é máxima é necessário para dar progressividade à resposta do motor. Esse controle do enriquecimento gradativo somente pode ser feito quando se usam os parâmetros EFF e LOAD como sendo a porcentagem de abertura da borboleta, pois no outro caso, não se tem sensibilidade neste controle.

A utilização do GMV em motores multicomcombustíveis é tecnicamente viável, calibrando-se independentemente a UCE para o funcionamento dedicado sem a necessidade de uma UCE complementar. O uso de um sistema de GMV multiponto, com eletroinjetores específicos, torna mais adequada a aplicação em motores de combustão por centelha, permitindo que seja dada à partida diretamente com GMV. Um chaveamento pode alterar a configuração da UCE automaticamente para funcionamento do motor com GMV, alterando os mapas de calibração armazenados na memória da UCE. O uso de uma única UCE que altere os seus mapas automaticamente para o uso do GMV através de um simples chaveamento é capaz de reduzir o custo do veículo multicomcombustível, pois os sistemas atuais de GMV multiponto de 5ª geração disponíveis no mercado utilizam uma UCE complementar para ajuste das calibrações para combustíveis líquidos. Isso aumenta o investimento do consumidor para o uso do GMV, pois o mesmo deve pagar por essa UCE extra que é instalada no seu veículo.

Ainda em relação ao uso do GMV em motores multicomcombustíveis, foram notados desgastes irregulares das sedes das válvulas e das válvulas do motor nas revisões realizadas durante as trocas dos jogos de pistão. Nos testes executados para se avaliar o assentamento e vedação das válvulas, todas as válvulas perderam o assentamento devido a esses desgastes prematuros. Isso ocorre por que o GMV não apresenta a mesma capacidade de lubrificação dessas peças do motor quando comparado com os combustíveis líquidos. Conclui-se que, para o ótimo funcionamento do motor com GMV, deve-se alterar o material metálico utilizado nas sedes das válvulas, desenvolvendo válvulas e sede de válvulas fabricados de metais com características autolubrificantes e mais duros, que reduzam a necessidade de lubrificação do próprio combustível.

Com os dados obtidos neste trabalho, é possível o desenvolvimento do novo conceito de motor multicomcombustível, tendo-os como referência para a otimização do motor multicomcombustível com o uso do turbocompressor. Estes dados servem de referência para o trabalho do Engenheiro José Guilherme Coelho Baeta, que deverá reproduzir e melhorar os resultados de desempenho e consumo específico, através do aumento da pressão do coletor de admissão, mantendo a razão de compressão original, com o uso de um turbocompressor controlado pela UCE. Mesmo que o aumento da relação de compressão não tenha trazido melhorias significativas para o motor funcionando com álcool etílico e GMV, os avanços de ignição para o álcool etílico e GMV com as razões de compressão maiores mostraram que esses combustíveis suportam maiores pressões internas no cilindro sem o aparecimento de detonação. Com isso, será possível a obtenção de melhorias no desempenho e no consumo específico do motor, já que o turbocompressor traz benefícios de desempenho tanto pelo aumento da pressão interna que pelo aumento da quantidade de mistura introduzida no cilindro.

Neste trabalho de pesquisa, os resultados de desempenho foram apresentados e comparados com as diversas razões de compressão para cada combustível. Foi também apresentada e avaliada a metodologia de calibração de uma UCE programável. Os mapas de tempo de injeção de combustível e avanço de ignição obtidos nas calibrações foram comparados e o comportamento do motor funcionando com cada combustível foi visualizado através destes mapas. Para o GMV, foi implementado um sistema de

gerenciamento para motores flexíveis multicomcombustível multiponto que permite um bom aproveitamento deste combustível. Ainda, para o GMV, foram apresentadas as calibrações dos mapas de tempo de injeção e mapas de avanço de ignição prontas para serem implementadas em um motor flexível multicomcombustível que compartilha a UCE com o sistema de GMV. Neste trabalho de pesquisa, todos os objetivos inicialmente propostos foram atingidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-1585: Veículos rodoviários – Código de potência de motores – Potência líquida efetiva*. Rio de Janeiro: 1996. 26 p.

ANP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO PETRÓLEO. *Gás natural veicular: Mercado em expansão*. Rio de Janeiro, 1 de agosto de 2003. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>> Acesso em: 11 de julho de 2005.

ANP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO PETRÓLEO. *Glossário*. Rio de Janeiro, 8 de maio de 2005. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/glossario/index.asp>> Acesso em: 07 de agosto de 2005.

AMORIM, Rogério Jorge; BAETA, José Guilherme Coelho; VALLE, Ramón Molina; BARROS, José Eduardo Mautone; CARVALHO, Remo dias Bahia de. *Comparison of performance curves of the gas fuelled 1.3 8V engine with compression ratio of 11:1 and 15:1*. In: FUELS & LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION 2005, 11 a 13 de maio de 2005, Rio de Janeiro, R.J.. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2005-01-2188. 6 p.

AMORIM, Rogério Jorge; BAETA, José Guilherme Coelho; VALLE, Ramón Molina; BARROS, José Eduardo Mautone; CARVALHO, Remo dias Bahia de. *Experimental Analyses of Flexible Fuel Systems in Spark Ignition Engine*. In: FUELS & LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION 2005, 11 a 13 de maio de 2005, Rio de Janeiro, R.J.. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2005-01-2183. 7 p.

BASSHUISEN, Richard van.; SCHÄFER, Fred. *Internal combustion engine handbook: basics, components, systems, and perspectives*. 1. ed. Warrendale, PA: SAE International, INC., 2004. 826 p.

BAETA, José Guilherme; VALLE, Ramón Molina; BARROS, José Eduardo Mautone; CARVALHO, Remo dias Bahia de AMORIM, Rogério Jorge. *A new concept of a flex multi-fuel engine*. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2004, novembro de 2004a, Rio de Janeiro, R.J.. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2004-01-3427. 6 p.

BAETA, José Guilherme Coelho; VALLE, Ramón Molina; BARROS, José Eduardo Mautone; CARVALHO, Remo dias Bahia de. *Mapping procedure applied to general engine management system for spark plug engines*. In: CONGRESSO SAE BRASIL 2004, novembro de 2004b, Rio de Janeiro, R.J.. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2004-01-3435. 10 p.

BAETA, José Guilherme Coelho; VALLE, Ramón Molina. *Uma nova concepção de motor FIRE 1.3 8V FLEX Tri-fuel*. UFMG, 20 de janeiro de 2004c, Belo Horizonte, MG. 17 p.

BRANCO, Gabriel Murgel. Meio ambiente e motores flex-fuel. *Engenharia automotiva e aeroespacial*. São Paulo, S.P., ano 5, nº 22, p. 64-65. jul. 2005.

CASTRO, Rômulo Augusto da Costa; BARROS, José Eduardo Mautone. Conversão de motor automobilístico em motor aeronáutico: *Ensaio do banco de hélice e ensaios do turbocompressor*. 31 de agosto de 2004. CEFET-MG. Belo Horizonte, M.G. 18 p.

COWART, J.S. et al. *Powertrain development of the 1996 Ford flexible fuel Taurus*. In: ALTERNATIVE FUELS CONFERENCE & ESPOSITION, 6 a 8 de dezembro de 1995, San Diego, California. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 952751. 16 p.

FIAT-GM POWERTRAIN. *Norma di prova 7-A3511: Motore ad accensione comandata Rilievo del rendimento volumetrico e delle differenze di riempimento da cilindro a cilindro al banco*. Turim: 2004. 22 p.

FIAT-GM POWERTRAIN. *Norma di prova 7-A6000: Rodagio motore al banco*. Turim: 2004. 17 p.

GANESAN, V. *Internal combustion engines*. 1. ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1995. 540 p.

GARRET, Thomas Kenneth. *Automotive fuels and fuel systems: fuels, tanks, delivery, metering, mixing and combustion, and environmental considerations*. 1 ed. Warrendale, PA: SAE Internacional, INC., 1991. v.1 gasoline. 361 p.

GASMIG. *Composição do gás natural.xls*. Belo Horizonte, dezembro de 2004. Arquivo anexo à mensagem recebida por <rogeriojamorim@yahoo.com.br>. Dezembro de 2004

GONÇALVES JR., Armando Albertazzi. *Metrologia: parte I*. Santa Catarina: LABMETRO. 2001. 117 p.

HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. 1 ed. New York McGraw-Hill, Inc., 1995. 930 p.

INGERSOLL, John G. *Natural gas vehicles*. 1. ed. Lilburn, GA: The Fairmont Press, Inc., 1995. 468 p.

INMETRO. *Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia*. 1 ed. Duque de Caxias: INMETRO, 1995. 52 p.

KATO, K. et al. *Development of engine for natural gas vehicle*. In: INTERNECIONAL CONGRESS AND EXPOSITION, 1 a 4 de março de 1999, Detroit, Michigan. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 1999-01-0574. 11 p.

KREMER, F.G.; FACHETTI, A. *Alcohol as automotivel fuel: Brazilian experience*. In: INTERNATIONAL SPRING FUELS & LUBRICANTS MEETING AND

EXPOSITION, 19 a 22 de junho de 2000, Paris, France. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2000-01-1965. 6 p.

MOTEC. *MoTeC M4, M48 & M8 User's Manual*. Victoria, Austrália: MoTeC, 1996. Disponível: <<http://www.motec.com/support/manuals/Manual%20M4%20M48%20M8%20A5.pdf>>. Acesso em: 22 de julho de 2005.

MOTEC. *MoTeC M4 Engine management program (Emp 6.20)*. 2003. Victoria, Austrália: MoTeC, 2003. Disponível em: <[http://mirror.motec.com.au/software/release/files/m4\\_v46\\_demo.exe](http://mirror.motec.com.au/software/release/files/m4_v46_demo.exe)>. Acesso em: 11 de julho de 2005.

MACHADO, Guilherme Bastos; MELO, Tadeu Cavalcante Cordeiro de; LASTRES, Luiz Fernando Martins. *Panorama of natural gas usage in heavy duty vehicles in Brazil*. In: FUELS & LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION 2005, 11 a 13 de maio de 2005, Rio de Janeiro, R.J.. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2005-01-2192. 8 p.

NOTÍCIAS DA OFICINA. *A tecnologia Total Flex: 1ª parte*. São Paulo, v. 196, ano XXV, p. 4-5, mai/jun. 2003a. Disponível em: <<http://noticiasdaoficina.com.br/noticiasOficina.asp>>. Acesso em: 18 agosto 2004.

NOTÍCIAS DA OFICINA. *A tecnologia Total Flex: 2ª parte*. São Paulo, v. 197, ano XXV, p. 4-5, jun/jul. 2003b. Disponível em: <<http://noticiasdaoficina.com.br/noticiasOficina.asp>>. Acesso em: 18 agosto 2004.

OPEC- ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. *The Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) Brief History*. Vienna: OPEC, 2005. Disponível em: <<http://www.opec.org/aboutus/>>. Acesso em: 11 jul. 2005.

OPEC- ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. *What is OPEC?*. Vienna: OPEC, fev. 2005. Disponível em: <<http://www.opec.org/library/what%20is%20OPEC/whatisOPEC.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2005.

PULKRABEK, Willard W. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. 1. ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1997. 411 p.

RIBEIRO, Uirá; CRUZ, Carla. *Metodologia científica: Teoria e prática*. 1 ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2003. 218 p.

ROBERT BOSCH GmbH. *Engine electronics*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 1996. 36 p.

SILVA, Eduardo Roberto da; SILVA, Ruth Rumiko Hashimoto da. *Álcool e gasolina: combustíveis do Brasil*. 5 ed. São Paulo: Scipione, 1997. 72 p.

STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 2 ed. Warrendale, PA: SAE Internacional, INC., 1993. 574 p.



TAYLOR, Charles Fayette. *Análise dos motores de combustão interna*. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1968. v2. 531 p.

ÚNICA – UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. *Álcool: o álcool combustível*. Disponível em <[http://www.unica.com.br/pages/alcool\\_alcool\\_combustivel.asp](http://www.unica.com.br/pages/alcool_alcool_combustivel.asp)>. Acesso em: 11 jul. 2005.

VICENTINI, Pedro Caffaro; KRONBERGER, Stefan. *Rating the performance of Brazilian flex fuel vehicles*. In: FUELS & LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION 2005, 11 a 13 de maio de 2005, Rio de Janeiro, R.J. *SAE Technical Paper Series*. Paper nº 2005-01-2206. 12 p.

ZAREH, Ahmad. Motores a gás. *Revista Lubrificação: uma publicação técnica dedicada à escolha e uso de lubrificantes*. Rio de Janeiro, v. 81, nº 4, p. 1-16. 1998

## ANEXO A

## TABELAS COM OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

## A.1. Resultados do motor funcionando com gasolina com razões de compressão de 11:1 e 12,5:1

Tabela A.1: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original a plena carga (100% borboleta)

Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original a plena carga (100% borboleta)							
Rotação	Potência	Potência Corrigida	Torque	Torque Corrigido	Consumo horário	SFC	$\lambda$
rpm	kW	kW	N.m	N.m	kg/h	g/kWh	
1500	13,5	15,1	86,0	96,0	3,9	291	0,97
1750	16,0	17,9	87,5	97,9	4,6	289	0,96
2000	19,0	21,3	90,8	101,7	5,6	294	0,97
2250	22,2	24,6	94,2	104,3	6,3	283	0,98
2500	24,9	27,6	95,0	105,4	7,2	289	0,97
2750	27,0	29,9	93,6	104,0	7,9	293	0,97
3000	29,2	32,4	92,9	103,1	8,6	294	0,96
3250	31,4	34,9	92,2	102,4	9,4	298	0,96
3500	33,4	37,1	91,2	101,3	10,2	306	0,96
3750	35,4	39,3	90,2	100,1	11,0	311	0,96
4000	37,3	41,4	89,0	98,8	11,8	317	0,97
4250	39,4	43,7	88,5	98,3	12,5	318	0,97
4500	40,9	45,4	86,7	96,3	13,4	327	0,97
4750	---	---	---	---	---	---	---
5000	42,0	46,6	80,2	89,0	14,3	341	0,95
5250	42,3	47,0	77,0	85,5	15,0	353	0,95
5500	42,5	47,2	73,8	82,0	15,0	352	0,96
5750	42,1	46,8	69,9	77,6	15,2	361	0,95
6000	41,2	45,8	65,6	72,8	15,6	378	0,95
6250	40,0	44,4	61,1	67,8	15,5	387	0,95
6500	38,1	42,4	56,0	62,2	15,3	400	0,96

Tabela A.2: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta)

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta)</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo horário</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,9	15,2	88,8	96,9	4,1	296	0,97
1750	16,3	17,8	88,9	97,0	4,0	244	1,03
2000	18,7	20,5	89,5	97,6	6,1	324	0,98
2250	21,4	23,3	90,7	99,0	6,9	322	0,96
2500	24,2	26,4	92,5	100,9	7,6	313	0,95
2750	27,1	29,5	93,9	102,5	8,4	311	0,95
3000	29,7	32,4	94,5	103,2	9,3	313	0,96
3250	31,8	34,8	93,4	102,1	10,2	322	0,96
3500	33,8	36,9	92,1	100,6	10,7	318	0,96
3750	36,0	39,4	91,7	100,4	11,1	309	0,96
4000	38,3	42,0	91,4	100,1	12,3	322	0,97
4250	40,4	44,3	90,8	99,5	13,1	324	0,98
4500	41,7	45,7	88,4	96,9	13,7	329	0,98
4750	42,5	46,6	85,4	93,6	14,3	336	0,97
5000	43,1	47,3	82,3	90,3	14,6	340	0,97
5250	44,2	48,5	80,5	88,2	15,1	340	0,97
5500	45,0	49,3	78,1	85,6	15,3	340	0,96
5750	44,6	48,9	74,1	81,2	15,6	349	0,96
6000	43,5	47,7	69,3	76,0	15,6	358	0,96
6250	42,3	46,4	64,6	70,9	15,3	362	0,97
6500	40,2	44,0	59,0	64,7	15,1	376	0,97

Tabela A.3: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta)

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 a plena carga (100% borboleta)</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo horário</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,4	14,0	79	89,2	3,4	279	0,97
1750	14,2	16,2	77	88,2	4,2	296	0,95
2000	16,9	19,2	81	91,6	4,8	285	0,96
2250	20,1	23,0	85	97,6	5,8	291	0,98
2500	22,4	25,6	86	97,6	6,7	299	0,96
2750	24,7	28,1	86	97,7	7,2	290	0,97
3000	26,6	30,6	85	97,3	7,0	263	0,96
3250	28,1	32,2	82	94,7	8,4	301	0,96
3500	29,6	33,8	81	92,3	9,1	309	0,97
3750	31,2	35,9	80	91,3	5,0	161	0,96
4000	33,1	37,9	79	90,6	10,5	319	0,97
4250	34,7	39,8	78	89,5	11,6	321	0,97
4500	35,7	40,8	76	86,6	11,5	321	0,98
4750	37,0	42,4	74	85,3	---	---	0,96
5000	38,0	43,6	73	83,3	13,3	349	0,95
5250	38,8	44,5	71	80,9	13,7	353	0,96
5500	39,2	44,8	68	77,9	13,8	353	0,96
5750	39,3	45,0	65	74,7	14,0	357	0,95
6000	39,1	44,7	62	71,1	14,1	361	0,95
6250	38,5	44,2	59	67,5	14,1	366	0,95
6500	37,1	42,3	55	62,2	13,6	367	0,96

Tabela A.4: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,3	14,8	84,5	94,4	3,7	276	1,01
1750	15,7	17,5	85,7	95,6	4,3	276	1,01
2000	18,5	20,7	88,4	98,6	5,3	285	1,01
2250	21,7	24,2	92,1	102,8	6,0	276	1,01
2500	24,3	27,1	92,7	103,5	6,8	280	1,01
2750	26,4	29,4	91,6	102,2	7,2	273	1,01
3000	28,3	31,6	90,2	100,6	8,3	292	1,01
3250	30,4	34,0	89,5	99,9	8,7	287	1,01
3500	32,5	36,3	88,6	98,9	9,4	290	1,01
3750	34,3	38,3	87,4	97,5	10,1	294	1,01
4000	36,1	40,3	86,3	96,3	10,8	298	1,01
4250	38,6	43,3	86,6	97,2	12,2	317	0,98
4500	40,0	44,9	84,8	95,2	12,7	318	0,97
4750	41,3	46,3	83,0	93,1	13,5	326	0,97
5000	41,5	46,5	79,2	88,9	14,0	337	0,95
5250	42,1	47,2	76,5	85,8	14,3	341	0,95
5500	42,3	47,4	73,4	82,2	14,5	343	0,96
5750	41,9	47,0	69,6	78,0	15,0	357	0,95
6000	41,1	46,0	65,3	73,3	15,2	371	0,95
6250	39,9	44,5	60,9	68,0	15,0	377	0,95
6500	38,3	42,7	56,3	62,8	15,0	391	0,95

Tabela A.5: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,9	15,1	88,8	96,1	4,1	295	0,98
1750	16,3	17,7	89,1	96,5	4,8	294	1,03
2000	18,7	20,3	89,3	96,8	6,1	324	0,98
2250	21,3	23,1	90,5	98,1	7,0	326	0,96
2500	24,0	26,0	91,7	99,4	8,0	333	0,95
2750	26,8	29,0	93,0	100,8	8,6	320	0,95
3000	29,4	31,9	93,7	101,7	9,2	313	0,96
3250	31,5	34,2	92,7	100,6	10,1	319	0,96
3500	33,5	36,3	91,4	99,1	10,9	324	0,96
3750	35,7	38,8	90,8	98,7	11,0	307	0,97
4000	37,9	41,3	90,6	98,6	12,2	321	0,97
4250	39,9	43,4	89,6	97,5	---	---	0,98
4500	41,0	44,7	87,1	95,0	13,1	319	0,98
4750	41,8	45,6	84,0	91,6	14,1	338	0,98
5000	42,2	46,0	80,6	87,9	14,2	335	0,97
5250	43,5	47,4	79,1	86,1	---	---	0,97
5500	44,2	48,1	76,8	83,6	15,0	339	0,97
5750	43,8	47,7	72,8	79,2	15,0	342	0,97
6000	43,0	46,7	68,5	74,4	15,3	356	0,96
6250	41,6	45,2	63,5	69,0	15,0	362	0,97
6500	39,6	43,0	58,2	63,2	14,9	375	0,97

Tabela A.6: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,2	13,6	77,8	86,8	3,3	273	1,00
1750	14,0	15,7	76,6	85,5	3,7	265	1,00
2000	16,6	18,5	79,2	88,4	4,8	287	1,00
2250	19,7	22,0	83,8	93,5	5,5	280	1,00
2500	21,8	24,3	83,3	93,0	6,4	293	1,00
2750	23,8	26,5	82,5	92,1	6,9	290	1,00
3000	25,9	28,9	82,5	92,1	7,4	285	1,00
3250	27,3	30,4	80,1	89,4	7,9	291	1,00
3500	28,6	31,9	78,0	87,1	8,6	302	1,00
3750	31,5	35,1	80,1	89,4	9,7	309	0,97
4000	33,4	37,2	79,6	88,9	10,7	322	0,97
4250	35,0	39,1	78,7	87,8	10,7	304	0,97
4500	36,1	40,3	76,6	85,5	11,7	325	0,96
4750	37,1	41,4	74,5	83,2	11,9	320	0,95
5000	37,6	42,0	71,8	80,1	13,8	367	0,94
5250	38,2	42,7	69,5	77,6	14,1	369	0,95
5500	38,4	42,8	66,6	74,4	14,1	368	0,95
5750	38,5	43,0	64,0	71,5	14,3	371	0,94
6000	38,1	42,5	60,6	67,7	13,8	362	0,94
6250	37,9	42,6	57,9	65,1	---	---	0,95
6500	36,2	40,9	53,2	60,1	14,4	399	0,95

Tabela A.7: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,3	14,8	85	94,1	3,3	250	1,01
1750	15,8	17,7	86	96,4	4,3	274	1,01
2000	18,2	20,3	87	97,1	4,9	271	1,01
2250	20,7	23,2	88	98,3	5,4	258	1,01
2500	23,1	25,8	88	98,6	6,3	274	1,01
2750	25,2	28,1	87	97,7	6,9	276	1,01
3000	27,1	30,3	86	96,5	7,6	282	1,01
3250	29,1	32,5	85	95,5	8,4	288	1,01
3500	30,7	34,3	84	93,6	8,8	288	1,01
3750	32,2	35,9	82	91,4	9,5	294	1,01
4000	33,7	37,6	80	89,7	10,0	297	1,01
4250	35,1	39,1	79	88,0	10,4	298	1,01
4500	36,2	40,3	77	85,6	11,0	304	1,01
4750	36,3	40,5	73	81,4	11,3	311	1,01
5000	35,4	39,5	68	75,5	11,7	330	1,01
5250	35,9	40,0	65	72,8	12,0	335	1,01
5500	36,6	40,9	64	71,1	12,3	336	1,00
5750	36,6	40,9	61	67,9	12,6	343	0,99
6000	35,8	39,9	57	63,5	13,4	375	0,98
6250	33,2	37,0	51	56,6	12,6	379	1,01
6500	31,9	35,7	47	52,4	12,3	385	1,01



Tabela A.8: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,7	15,1	87,3	96,0	4,0	292	0,99
1750	16,1	17,7	87,9	96,6	4,8	295	0,98
2000	18,1	19,9	86,6	95,1	4,7	259	0,95
2250	20,6	22,6	87,3	96,0	6,7	326	0,94
2500	23,2	25,5	88,7	97,4	7,6	328	0,94
2750	25,9	28,6	89,8	99,3	8,2	317	0,94
3000	28,1	31,1	89,4	98,9	7,5	267	0,95
3250	29,7	32,9	87,3	96,6	9,2	309	0,96
3500	31,1	34,4	84,8	93,8	9,5	307	0,96
3750	32,6	36,1	83,1	91,9	10,4	318	0,97
4000	33,9	37,5	81,0	89,5	10,7	315	0,99
4250	35,2	39,0	79,2	87,6	11,0	312	0,99
4500	35,9	39,7	76,1	84,2	11,5	321	0,99
4750	36,2	39,9	72,7	80,2	11,7	323	0,99
5000	36,3	40,0	69,3	76,3	11,9	328	0,99
5250	37,0	40,8	67,3	74,3	12,1	326	0,99
5500	37,3	41,1	64,7	71,3	12,4	332	0,99
5750	36,8	40,4	61,1	67,2	12,4	338	0,98
6000	35,7	39,2	56,8	62,4	12,7	355	0,98
6250	33,8	37,2	51,7	56,8	12,1	358	0,99
6500	31,9	35,0	46,8	51,4	11,9	372	0,99

Tabela A.9: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,0	13,4	76,2	85,4	3,4	280	1,00
1750	14,3	16,0	77,8	87,1	3,9	276	1,00
2000	16,3	18,2	77,8	87,1	4,5	277	1,00
2250	18,3	20,5	77,7	87,1	5,2	282	1,00
2500	20,4	22,9	78,0	87,3	5,8	283	1,00
2750	22,4	25,1	77,7	87,1	6,4	287	1,00
3000	24,2	27,2	77,1	86,4	6,6	272	1,00
3250	25,2	28,3	74,1	83,0	---	---	1,00
3500	26,2	29,4	71,5	80,1	7,7	295	1,00
3750	27,4	30,7	69,7	78,1	8,4	306	1,00
4000	---	---	---	---	---	---	---
4250	30,2	33,8	67,8	75,9	8,8	291	0,98
4500	31,3	35,1	66,5	74,5	10,5	334	0,97
4750	31,6	35,4	63,5	71,2	10,9	345	0,97
5000	31,7	35,5	60,5	67,8	10,9	344	0,96
5250	32,0	35,9	58,2	65,2	11,4	358	0,96
5500	32,2	36,1	56,0	62,7	11,7	364	0,96
5750	31,7	35,5	52,6	59,0	11,7	369	0,96
6000	30,5	34,3	48,5	54,7	11,8	386	0,97
6250	29,7	33,6	45,4	51,3	11,5	387	0,97
6500	28,6	32,3	42,0	47,4	11,4	398	0,98

Tabela A.10: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,6	11,9	67,7	75,6	3,0	281	1,01
1750	11,8	13,2	64,5	72,0	3,4	287	1,01
2000	12,7	14,2	60,5	67,6	3,4	272	1,01
2250	13,4	14,9	56,8	63,3	1,7	125	1,01
2500	13,9	15,5	52,9	59,1	4,3	311	1,00
2750	14,3	16,0	49,7	55,4	4,4	311	1,00
3000	14,6	16,2	46,4	51,6	4,5	311	1,00
3250	14,9	16,6	43,8	48,9	4,8	322	1,01
3500	15,6	17,4	42,5	47,4	5,0	324	1,01
3750	16,0	17,8	40,6	45,3	5,6	349	1,01
4000	15,9	17,7	38,0	42,4	5,7	356	1,01
4250	15,8	17,6	35,4	39,6	5,6	356	1,01
4500	15,6	17,4	33,0	36,9	6,0	382	1,01
4750	15,1	16,9	30,4	33,9	5,9	393	1,01
5000	14,3	16,0	27,3	30,5	5,9	413	1,01
5250	13,5	15,0	24,5	27,4	6,0	446	1,01
5500	12,5	13,9	21,7	24,2	6,0	482	1,01
5750	11,5	12,8	19,0	21,2	6,0	524	1,01
6000	10,1	11,3	16,2	18,0	6,1	603	1,01
6250	9,1	10,1	13,8	15,4	6,4	711	1,01
6500	8,2	9,1	12,0	13,4	6,2	760	1,01

Tabela A.11: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,5	13,7	79,8	87,2	3,7	292	1,02
1750	14,6	16,0	79,6	87,1	4,2	291	1,00
2000	16,1	17,6	76,8	84,1	4,6	287	0,98
2250	17,3	19,0	73,6	80,6	5,5	318	1,03
2500	18,4	20,1	70,3	76,9	5,6	305	1,01
2750	19,6	21,5	68,1	74,5	5,9	298	1,01
3000	20,3	22,2	64,5	70,6	6,2	308	1,01
3250	20,6	22,6	60,7	66,5	6,2	299	1,01
3500	20,8	22,8	56,9	62,2	6,4	309	1,01
3750	20,6	22,5	52,4	57,4	6,8	329	1,02
4000	21,2	23,2	50,6	55,3	7,0	329	1,00
4250	21,1	23,1	47,3	51,8	7,2	339	1,00
4500	20,6	22,5	43,7	47,8	7,3	354	1,00
4750	19,8	21,7	39,9	43,7	7,3	368	1,00
5000	19,0	20,8	36,4	39,8	7,2	378	1,00
5250	18,4	20,2	33,5	36,7	7,3	397	1,00
5500	17,7	19,4	30,7	33,6	7,1	399	1,00
5750	16,8	18,4	27,9	30,5	7,4	439	1,00
6000	15,6	17,0	24,8	27,1	7,2	460	1,00
6250	14,6	15,9	22,3	24,4	7,3	504	1,00
6500	13,2	14,4	19,4	21,2	7,2	550	0,99

Tabela A.12: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,2	12,7	71,3	81,1	3,0	272	1,00
1750	13,0	14,8	70,9	80,6	3,6	276	1,00
2000	14,3	16,3	68,3	77,7	3,1	219	1,01
2250	15,3	17,4	64,9	73,8	4,4	286	1,01
2500	16,4	18,6	62,5	71,1	4,7	287	1,01
2750	17,1	19,4	59,5	67,5	5,1	297	1,00
3000	17,6	19,8	55,9	63,1	5,3	301	1,01
3250	18,1	20,4	53,0	60,1	5,5	306	1,00
3500	18,0	20,4	49,2	55,6	5,3	292	1,00
3750	18,1	20,4	46,0	52,0	5,8	321	1,00
4000	17,9	20,2	42,7	48,3	5,9	327	1,00
4250	17,7	20,0	39,8	45,0	6,1	343	1,00
4500	17,4	19,6	36,8	41,7	6,0	349	1,00
4750	16,9	19,1	33,9	38,4	6,2	367	1,00
5000	16,3	18,5	31,2	35,3	6,2	382	1,00
5250	15,7	17,8	28,6	32,4	5,9	374	1,00
5500	15,0	16,8	26,0	29,2	6,0	404	1,00
5750	13,9	15,7	23,1	26,1	5,6	401	1,00
6000	12,0	13,5	19,0	21,4	5,8	483	1,00
6250	10,9	12,2	16,7	18,7	5,5	502	1,00
6500	10,0	11,3	14,7	16,6	5,9	592	1,00

Tabela A.13: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,1	12,1	70,4	77,0	3,4	306	1,02
1750	11,9	13,0	65,0	71,1	3,6	299	1,06
2000	12,8	14,0	61,1	66,8	3,9	303	1,03
2250	13,4	14,6	56,8	62,2	4,0	297	1,02
2500	13,8	15,1	52,8	57,8	3,9	283	1,00
2750	13,9	15,2	48,3	52,8	3,9	283	1,00
3000	13,6	14,9	43,3	47,4	4,4	321	1,00
3250	13,3	14,6	39,1	42,8	4,5	336	1,01
3500	12,8	13,9	34,8	38,0	4,6	361	1,02
3750	12,5	13,6	31,8	34,7	4,6	372	1,00
4000	11,9	13,1	28,5	31,2	4,7	391	1,00
4250	11,4	12,5	25,6	28,1	4,8	419	0,99
4500	10,7	11,7	22,7	24,8	4,9	462	1,00
4750	9,9	10,8	19,9	21,8	4,6	468	0,99
5000	9,1	10,0	17,5	19,1	4,7	518	0,99
5250	8,4	9,2	15,3	16,8	5,1	609	1,00
5500	7,4	8,1	12,9	14,1	5,4	723	0,93
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---

Tabela A.14: Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	9,7	11,0	61,7	69,9	2,8	286	1,01
1750	10,9	12,4	59,7	67,7	3,1	280	1,01
2000	11,6	13,2	55,3	63,0	3,3	285	1,01
2250	11,9	13,6	50,6	57,7	3,5	294	1,00
2500	12,2	13,9	46,5	53,0	---	---	1,00
2750	12,2	13,9	42,4	48,3	---	---	1,00
3000	12,1	13,8	38,5	43,8	3,8	318	1,00
3250	11,9	13,5	34,9	39,7	3,9	328	1,00
3500	11,5	13,1	31,3	35,6	3,9	344	1,00
3750	11,0	12,5	28,0	31,8	3,9	358	1,00
4000	10,4	11,8	24,8	28,2	4,0	382	1,00
4250	9,8	11,1	22,0	25,0	3,9	395	1,00
4500	8,8	10,0	18,7	21,3	4,0	449	1,00
4750	7,9	9,0	15,8	18,0	4,0	505	1,00
5000	6,9	7,9	13,2	15,0	3,9	568	1,00
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---

**A.2. Resultados do motor funcionando com álcool com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1**

Tabela A.15: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,3	14,7	84,5	93,5	6,3	471	0,96
1750	15,8	17,5	86,3	95,6	7,6	480	0,95
2000	19,3	21,4	92,3	102,3	8,9	461	0,96
2250	23,0	25,5	97,6	108,3	10,2	446	0,98
2500	25,5	28,3	97,5	108,2	11,3	444	0,98
2750	27,7	30,7	96,1	106,6	12,5	451	0,97
3000	29,7	33,0	94,5	105,1	13,8	463	0,96
3250	32,0	35,6	94,1	104,7	14,9	467	0,95
3500	34,3	38,2	93,5	104,2	15,9	464	0,96
3750	36,3	40,5	92,5	103,2	17,0	467	0,96
4000	38,5	42,9	91,8	102,5	18,1	471	0,96
4250	40,5	45,2	91,0	101,6	19,3	477	0,96
4500	41,9	46,8	88,9	99,2	20,1	479	0,97
4750	43,2	48,2	86,9	97,0	20,9	483	0,97
5000	43,9	49,0	83,8	93,6	21,9	499	0,95
5250	44,4	49,5	80,7	90,0	22,5	507	0,95
5500	44,4	49,6	77,2	86,1	22,6	509	0,96
5750	43,8	49,1	72,8	81,6	23,2	530	0,95
6000	42,8	47,8	68,1	76,1	23,6	552	0,95
6250	41,6	46,6	63,6	71,2	23,2	557	0,95
6500	39,8	44,3	58,5	65,2	22,8	574	0,96



Tabela A.16: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	14,2	15,7	90,4	100,1	6,5	459	0,95
1750	16,7	18,5	91,3	100,9	8,1	482	0,92
2000	20,3	22,4	96,8	107,1	9,4	463	0,95
2250	24,0	26,6	102,0	112,9	10,5	435	0,97
2500	27,0	29,9	103,1	114,1	11,3	417	0,96
2750	29,2	32,3	101,3	112,2	13,2	451	0,96
3000	31,4	34,7	99,8	110,5	13,7	438	0,95
3250	33,9	37,4	99,6	109,9	15,5	458	0,94
3500	36,4	40,3	99,4	109,9	16,3	446	0,94
3750	39,1	43,2	99,5	110,1	17,3	443	0,94
4000	40,4	44,8	96,6	107,0	18,7	463	0,95
4250	43,7	48,4	98,3	108,7	20,2	461	0,95
4500	45,0	49,8	95,5	105,7	20,2	448	0,95
4750	45,9	50,7	92,2	101,9	21,8	475	0,95
5000	46,1	50,9	88,1	97,3	21,5	466	0,94
5250	46,1	51,0	83,9	92,7	21,8	474	0,95
5500	45,4	50,3	78,9	87,3	---	---	0,96
5750	44,7	49,5	74,3	82,2	22,9	513	0,96
6000	43,6	48,2	69,3	76,7	23,2	534	0,95
6250	42,2	46,7	64,5	71,4	22,8	540	0,96
6500	40,1	44,3	58,9	65,0	22,2	553	0,96

Tabela A.17: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,4	15,1	85,0	96,3	5,9	441	0,96
1750	15,7	17,8	85,5	97,3	7,0	447	0,94
2000	18,9	21,5	90,1	102,9	8,4	446	0,96
2250	22,5	25,7	95,7	109,3	9,6	425	0,97
2500	25,1	28,7	96,0	109,6	10,8	430	0,97
2750	27,6	31,5	95,9	109,5	12,1	438	0,96
3000	29,7	33,9	94,6	108,0	13,2	445	0,95
3250	31,9	36,4	93,8	107,0	14,2	446	0,95
3500	34,1	38,9	92,9	106,0	15,2	446	0,96
3750	36,5	41,6	92,9	106,0	16,5	453	0,95
4000	38,6	44,0	92,1	105,1	17,8	461	0,95
4250	40,9	46,6	91,9	104,8	18,6	456	0,96
4500	42,3	48,2	89,7	102,3	19,4	459	0,96
4750	43,5	49,6	87,5	99,8	20,8	479	0,95
5000	44,2	50,4	84,4	96,3	21,7	490	0,94
5250	44,8	51,1	81,5	93,0	22,1	493	0,95
5500	44,9	51,2	77,9	88,9	22,1	493	0,95
5750	44,8	51,1	74,4	84,8	22,7	507	0,94
6000	44,0	50,2	70,1	79,9	23,1	525	0,94
6250	43,1	49,2	65,9	75,1	22,3	516	0,95
6500	41,4	47,1	60,8	69,2	22,3	540	0,95

Tabela A.18: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,0	14,8	82,7	94,3	5,7	436	0,96
1750	15,1	17,2	82,2	94,1	6,9	462	0,95
2000	18,0	20,7	86,2	98,7	8,1	447	0,96
2250	21,5	24,6	91,4	104,6	9,4	437	0,98
2500	23,8	27,3	91,1	104,2	10,6	442	0,98
2750	26,1	29,8	90,7	103,6	11,4	437	0,96
3000	28,1	32,1	89,5	102,3	---	---	0,95
3250	30,1	34,4	88,5	101,1	13,6	453	0,95
3500	32,1	36,7	87,6	100,1	14,6	455	0,96
3750	34,1	38,9	86,7	99,0	16,2	475	0,96
4000	35,8	40,9	85,4	97,5	16,7	466	0,96
4250	37,2	42,8	83,6	96,2	17,6	473	0,96
4500	38,7	44,6	82,2	94,6	---	---	0,97
4750	40,5	46,5	81,4	93,5	19,4	478	0,96
5000	41,7	48,0	79,7	91,6	21,5	515	0,95
5250	42,5	48,8	77,2	88,7	---	---	0,96
5500	42,7	49,1	74,2	85,3	---	---	0,96
5750	42,9	49,3	71,2	81,9	22,8	531	0,95
6000	42,4	48,7	67,5	77,6	23,3	550	0,95
6250	41,4	47,2	63,2	72,1	23,0	555	0,95
6500	39,5	45,2	58,1	66,4	22,5	569	0,96

Tabela A.19: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,4	14,8	85,5	94,2	6,0	445	0,98
1750	15,9	17,5	86,8	95,7	6,8	430	0,98
2000	19,2	21,2	91,9	101,3	8,5	442	1,00
2250	22,6	25,0	96,0	105,9	9,9	437	1,01
2500	25,0	27,6	95,3	105,2	11,1	444	1,01
2750	27,0	29,8	93,8	103,6	11,9	439	1,00
3000	29,2	32,2	92,8	102,6	13,0	447	0,99
3250	31,5	34,9	92,7	102,6	14,0	443	0,99
3500	33,7	37,4	92,0	101,9	14,9	442	1,01
3750	35,8	39,7	91,1	101,0	16,1	449	1,01
4000	38,2	42,4	91,3	101,3	17,4	455	0,99
4250	40,7	45,2	91,6	101,6	19,2	470	0,97
4500	41,9	46,5	89,0	98,7	20,2	483	0,97
4750	43,3	48,1	87,1	96,6	20,9	482	0,97
5000	43,9	48,8	83,9	93,2	21,9	499	0,96
5250	44,2	49,1	80,4	89,2	22,4	506	0,96
5500	44,2	49,1	76,8	85,3	22,3	504	0,97
5750	43,9	48,8	72,9	81,0	23,2	527	0,96
6000	42,7	47,5	68,0	75,5	23,0	538	0,95
6250	41,3	45,9	63,1	70,1	22,3	540	0,96
6500	39,4	43,7	57,8	64,2	22,6	575	0,96

Tabela A.20: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	14,3	15,8	90,7	100,3	6,3	442	0,94
1750	16,8	18,6	91,8	101,6	7,1	422	0,92
2000	20,1	22,2	95,7	106,0	9,2	460	0,94
2250	23,6	26,2	100,3	111,1	10,3	438	0,97
2500	26,5	29,3	101,1	112,0	11,1	419	0,96
2750	28,7	31,7	99,5	110,2	12,6	439	0,96
3000	30,7	34,0	97,9	108,3	13,4	437	0,95
3250	33,2	36,8	97,5	108,1	14,6	441	0,94
3500	35,6	39,4	97,2	107,6	16,4	461	0,94
3750	38,1	42,2	97,0	107,4	17,2	453	0,94
4000	40,5	44,9	96,6	107,1	18,4	454	0,94
4250	42,7	47,2	95,8	106,2	19,4	455	0,95
4500	43,9	48,6	93,2	103,1	20,3	461	0,95
4750	44,6	49,4	89,7	99,3	20,8	466	0,95
5000	44,6	49,4	85,1	94,3	21,3	478	0,94
5250	45,1	49,9	82,0	90,8	21,7	482	0,95
5500	45,0	49,8	78,1	86,4	22,0	489	0,95
5750	44,5	49,2	73,8	81,7	22,6	509	0,94
6000	43,5	48,1	69,2	76,6	22,6	521	0,93
6250	42,2	46,8	64,5	71,5	22,2	526	0,93
6500	41,5	46,0	61,0	67,6	21,0	506	0,94

Tabela A.21: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,8	14,5	81,7	92,1	5,5	425	1,00
1750	15,2	17,1	82,8	93,4	6,0	398	1,00
2000	18,2	20,5	86,7	98,0	7,8	428	1,00
2250	21,6	24,5	91,8	103,8	9,0	417	1,00
2500	24,3	27,4	92,7	104,8	10,2	422	1,00
2750	26,4	29,9	91,6	103,8	11,0	417	1,01
3000	28,5	32,2	90,6	102,5	12,0	421	1,00
3250	30,5	34,5	89,6	101,3	13,0	425	1,00
3500	32,6	36,9	88,9	100,5	14,0	429	1,00
3750	34,6	39,1	88,1	99,7	15,0	435	1,00
4000	36,8	41,6	87,8	99,4	16,2	440	1,00
4250	39,7	44,9	89,2	100,9	17,9	452	0,97
4500	41,0	46,4	87,1	98,5	19,1	465	0,97
4750	42,1	47,7	84,7	95,8	19,9	471	0,97
5000	43,0	48,6	82,1	92,9	21,0	488	0,95
5250	43,1	48,7	78,4	88,6	19,8	460	0,96
5500	43,0	48,6	74,6	84,4	20,5	476	0,97
5750	43,3	48,9	71,9	81,1	22,0	509	0,95
6000	42,4	47,8	67,4	76,1	22,2	525	0,95
6250	41,1	46,3	62,8	70,7	21,8	531	0,96
6500	39,5	44,5	58,1	65,4	21,8	551	0,96

Tabela A.22: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,7	14,4	80,8	91,6	5,5	431	1,00
1750	14,7	16,8	80,4	91,7	6,4	432	1,00
2000	17,6	20,1	83,9	95,8	7,7	436	1,00
2250	20,8	23,7	88,4	100,8	8,5	408	1,00
2500	23,0	26,2	87,9	100,2	9,9	432	1,00
2750	24,8	28,3	86,3	98,4	11,0	443	1,00
3000	26,5	30,2	84,4	96,2	11,6	439	1,00
3250	28,4	32,6	83,5	95,9	11,8	415	1,01
3500	30,3	34,7	82,6	94,7	13,5	447	1,00
3750	32,2	36,9	82,0	94,1	14,7	456	1,01
4000	34,0	39,0	81,2	93,0	15,9	468	1,00
4250	36,8	42,0	82,6	94,4	16,5	448	0,98
4500	38,4	43,8	81,4	93,0	19,1	498	0,97
4750	40,3	46,0	80,9	92,4	20,0	498	0,96
5000	41,4	47,3	79,1	90,3	21,3	514	0,95
5250	42,0	48,0	76,4	87,3	21,3	508	0,96
5500	41,6	47,6	72,2	82,6	21,6	518	0,97
5750	41,6	47,6	69,1	79,1	21,0	505	0,96
6000	41,3	47,3	65,8	75,3	22,2	536	0,95
6250	40,3	46,2	61,6	70,5	22,2	551	0,96
6500	38,7	44,3	56,9	65,1	22,1	571	0,96

Tabela A.23: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,1	14,5	83,6	92,2	6,1	462	1,01
1750	15,8	17,4	86,0	94,8	7,2	456	1,00
2000	18,2	20,1	86,8	95,8	8,1	446	1,01
2250	20,9	23,1	88,7	98,2	9,6	457	1,01
2500	23,3	25,8	88,8	98,7	10,6	455	1,01
2750	25,4	28,1	88,2	97,7	11,8	463	1,01
3000	27,3	30,4	87,0	96,7	12,2	447	1,01
3250	29,3	32,5	86,1	95,6	13,3	455	1,01
3500	31,3	34,8	85,5	94,9	14,2	455	1,01
3750	33,2	36,9	84,6	93,9	15,3	460	1,00
4000	35,0	38,8	83,6	92,7	16,0	456	1,00
4250	36,5	40,5	82,1	91,1	16,9	464	1,00
4500	37,6	41,7	79,8	88,5	17,7	471	1,01
4750	38,1	42,2	76,5	84,9	18,1	475	1,01
5000	37,9	42,0	72,4	80,2	18,4	487	1,02
5250	37,8	42,0	68,8	76,3	18,8	496	1,02
5500	37,9	42,0	65,8	72,9	19,1	504	1,01
5750	37,4	41,5	62,2	69,0	19,3	515	1,01
6000	37,2	41,3	59,2	65,7	20,0	539	0,97
6250	35,1	38,8	53,6	59,2	19,8	564	0,99
6500	32,8	36,2	48,2	53,1	19,0	579	1,01



Tabela A.24: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	14,0	15,2	89,1	96,7	6,4	454	0,97
1750	16,8	18,2	91,5	99,3	7,5	444	0,95
2000	19,1	20,8	91,4	99,2	9,0	470	0,93
2250	21,8	23,7	92,5	100,4	10,2	469	0,95
2500	24,4	26,4	93,0	100,9	11,3	463	0,95
2750	26,6	28,8	92,3	100,1	12,1	456	0,95
3000	28,3	30,7	90,1	97,8	13,0	459	0,96
3250	30,1	32,7	88,5	96,0	13,9	463	0,96
3500	31,7	34,4	86,6	93,9	14,7	463	0,96
3750	32,3	35,0	82,2	89,1	15,4	477	0,96
4000	34,8	37,8	83,0	90,2	16,0	459	0,97
4250	35,8	38,8	80,4	87,3	16,6	463	0,98
4500	36,5	39,6	77,4	84,1	17,2	473	0,98
4750	36,5	39,6	73,4	79,7	17,8	489	0,98
5000	36,3	39,5	69,4	75,4	18,0	497	0,97
5250	36,3	39,4	66,0	71,7	18,0	497	0,98
5500	35,8	38,8	62,1	67,4	18,1	507	0,99
5750	35,1	37,9	58,2	63,0	18,8	535	0,98
6000	33,8	36,5	53,8	58,1	19,2	568	0,97
6250	32,0	34,6	48,9	52,8	18,9	591	0,97
6500	30,2	32,7	44,4	48,1	18,5	613	0,97

Tabela A.25: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,9	14,4	82	91,5	5,5	431	1,00
1750	15,3	17,1	84	93,5	6,5	427	1,00
2000	17,6	19,6	84	93,7	7,5	428	1,00
2250	20,1	22,4	85	95,2	8,6	427	1,00
2500	22,6	25,3	86	96,6	9,6	426	1,00
2750	24,8	27,7	86	96,2	10,6	429	1,00
3000	26,6	29,8	85	95,0	11,4	430	1,00
3250	28,3	31,9	83	93,8	---	---	1,00
3500	29,9	33,7	82	92,0	13,0	433	1,00
3750	31,4	35,4	80	90,1	13,5	431	1,00
4000	32,9	37,0	78	88,3	14,7	446	1,00
4250	34,1	38,3	77	86,1	15,4	453	1,00
4500	34,3	38,6	73	82,0	15,9	463	1,00
4750	34,4	38,8	69	77,9	16,5	479	1,00
5000	34,4	38,8	66	74,0	16,7	486	1,00
5250	34,6	39,0	63	70,9	17,0	492	1,00
5500	34,4	38,7	60	67,1	17,2	500	1,00
5750	33,8	38,0	56	63,1	17,3	513	0,99
6000	32,8	36,9	52	58,7	17,4	533	0,99
6250	31,6	35,5	48	54,2	17,4	551	0,99
6500	30,4	34,2	45	50,2	17,4	573	0,99

Tabela A.26: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,7	14,3	81	91,1	5,4	430	1,00
1750	14,9	16,9	82	92,1	6,4	427	0,99
2000	17,1	19,3	82	92,1	7,3	426	0,99
2250	19,4	21,9	83	93,2	8,4	430	0,99
2500	21,7	24,5	83	93,6	9,5	436	0,99
2750	23,7	26,7	82	92,9	10,4	438	1,00
3000	25,4	28,7	81	91,4	11,2	440	1,00
3250	26,8	30,3	79	89,1	11,9	445	1,00
3500	28,5	32,3	78	88,2	12,6	444	1,00
3750	29,2	33,2	74	84,4	13,3	458	1,00
4000	30,1	34,3	72	81,8	14,4	479	1,00
4250	31,1	35,4	70	79,6	15,2	489	1,00
4500	31,8	36,1	67	76,6	15,8	498	1,00
4750	32,3	36,8	65	73,9	16,2	503	1,00
5000	32,7	37,2	62	71,0	16,6	509	1,00
5250	32,8	37,2	60	67,7	17,0	519	1,00
5500	32,4	36,6	56	63,5	17,3	533	1,00
5750	31,8	35,8	53	59,5	17,4	548	1,00
6000	31,2	35,2	50	56,0	17,6	562	1,00
6250	30,3	34,2	46	52,3	16,3	537	0,99
6500	29,2	33,0	43	48,4	18,0	617	0,99

Tabela A.27: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE original com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,6	11,7	67,4	74,6	5,1	480	1,01
1750	12,1	13,4	66,0	73,0	5,8	484	1,00
2000	13,0	14,4	62,2	68,9	6,1	472	1,00
2250	14,1	15,6	59,9	66,3	6,8	485	1,00
2500	14,7	16,3	56,3	62,3	6,9	466	1,00
2750	15,2	16,8	52,7	58,4	7,7	506	1,00
3000	15,5	17,2	49,4	54,8	8,0	515	1,00
3250	16,0	17,7	46,9	52,0	8,4	526	1,00
3500	16,7	18,5	45,5	50,3	8,9	534	1,00
3750	17,1	19,0	43,6	48,3	9,3	542	1,00
4000	17,0	18,8	40,6	45,0	9,7	572	1,00
4250	17,1	18,9	38,3	42,5	9,4	552	1,00
4500	16,9	18,7	35,8	39,7	9,8	583	1,00
4750	16,3	18,1	32,7	36,3	10,1	622	1,01
5000	15,4	17,1	29,5	32,7	10,3	670	1,01
5250	14,6	16,2	26,5	29,4	10,2	699	1,01
5500	13,7	15,2	23,8	26,4	10,3	754	1,01
5750	12,3	13,7	20,5	22,7	10,3	832	1,01
6000	11,4	12,7	18,1	20,1	10,0	877	1,01
6250	10,2	11,3	15,6	17,3	10,4	1015	1,01
6500	8,8	9,7	12,9	14,3	10,0	1141	1,01

Tabela A.28: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	13,1	14,4	83,6	91,4	5,7	432	0,98
1750	15,2	16,6	82,8	90,4	6,7	440	0,98
2000	16,6	18,1	79,2	86,5	7,4	448	0,97
2250	17,9	19,5	75,8	82,7	7,6	424	0,98
2500	18,9	20,6	72,1	78,8	7,2	381	1,00
2750	19,7	21,5	68,2	74,5	8,7	441	1,01
3000	20,2	22,1	64,4	70,3	8,7	432	1,00
3250	20,7	22,6	60,8	66,4	9,3	450	0,99
3500	20,6	22,5	56,2	61,4	10,0	484	0,99
3750	20,8	22,7	52,9	57,7	10,0	479	1,00
4000	20,7	22,6	49,4	53,9	9,6	465	1,00
4250	20,5	22,3	46,0	50,2	10,3	501	1,01
4500	20,1	22,0	42,7	46,6	9,9	490	1,01
4750	19,7	21,5	39,5	43,2	10,1	514	0,99
5000	19,1	20,9	36,5	39,8	10,3	540	0,99
5250	18,4	20,1	33,5	36,6	10,5	569	0,99
5500	17,5	19,0	30,3	33,1	10,0	572	1,00
5750	16,4	17,8	27,2	29,6	10,8	657	1,01
6000	15,3	16,7	24,3	26,5	10,0	655	1,01
6250	14,2	15,5	21,6	23,6	10,8	759	1,00
6500	13,4	14,6	19,6	21,4	10,9	812	0,99

Tabela A.29: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,9	13,3	76	84,7	5,1	433	1,00
1750	13,8	15,4	75	84,2	6,0	437	1,00
2000	---	---	---	---	---	---	---
2250	16,3	18,3	69	77,7	7,3	446	1,00
2500	17,5	19,6	67	74,9	7,8	447	1,00
2750	18,4	20,6	64	71,6	8,3	453	1,00
3000	19,0	21,2	60	67,6	8,7	459	1,00
3250	19,3	21,6	57	63,4	9,1	472	1,00
3500	19,4	21,7	53	59,2	9,4	485	1,00
3750	19,4	21,7	49	55,3	9,7	498	0,99
4000	19,2	21,5	46	51,3	9,8	510	0,99
4250	18,9	21,2	43	47,6	10,0	530	0,99
4500	18,3	20,5	39	43,5	10,1	554	0,99
4750	17,6	19,7	35	39,6	10,2	581	0,99
5000	16,9	18,9	32	36,0	10,3	612	0,99
5250	16,0	17,9	29	32,6	10,3	646	0,99
5500	15,1	16,8	26	29,3	10,3	686	0,99
5750	14,2	15,9	24	26,4	10,2	723	0,99
6000	13,1	14,6	21	23,3	10,2	784	0,99
6250	11,9	13,3	18	20,3	10,2	859	0,99
6500	10,8	12,1	16	17,7	10,1	937	0,99

Tabela A.30: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,6	13,3	74	84,4	5,1	436	1,00
1750	13,4	15,2	73	83,0	5,9	438	1,00
2000	14,6	16,7	70	79,6	6,3	430	1,00
2250	15,9	18,0	67	76,6	7,1	445	0,99
2500	17,0	19,4	65	74,0	7,6	449	0,99
2750	17,9	20,4	62	70,9	---	---	0,99
3000	18,5	21,0	59	66,9	8,4	457	1,00
3250	18,7	21,3	55	62,7	8,7	466	1,00
3500	18,9	21,5	51	58,6	9,0	477	1,00
3750	18,7	21,3	48	54,2	9,4	505	0,99
4000	18,6	21,1	44	50,5	9,5	514	0,99
4250	18,4	20,9	41	47,0	9,9	536	0,99
4500	17,9	20,4	38	43,3	10,0	561	0,99
4750	17,3	19,6	35	39,5	10,0	582	0,99
5000	16,5	18,8	31	35,8	10,2	619	0,99
5250	16,1	18,4	29	33,4	10,3	638	0,99
5500	15,3	17,4	27	30,2	10,2	668	0,99
5750	14,1	16,0	23	26,6	10,2	726	0,99
6000	12,9	14,7	21	23,5	9,9	762	0,99
6250	11,7	13,4	18	20,4	10,2	870	0,99
6500	10,2	11,6	15	17,0	---	---	0,99

Tabela A.31: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	12,8	13,8	81,2	87,9	5,1	403	0,99
1750	14,0	15,2	76,6	83,0	5,5	394	1,02
2000	15,0	16,3	71,8	77,8	6,1	406	1,00
2250	15,9	17,2	67,3	72,8	6,5	407	1,00
2500	16,3	17,6	62,3	67,1	6,6	407	1,00
2750	16,5	17,8	57,4	61,8	6,9	414	1,00
3000	16,4	17,7	52,3	56,4	6,8	417	1,01
3250	16,5	17,8	48,4	52,2	7,2	436	1,00
3500	16,3	17,5	44,4	47,9	7,2	440	1,00
3750	16,0	17,3	40,8	44,0	7,1	445	1,02
4000	15,7	16,9	37,4	40,3	7,1	451	1,01
4250	15,2	16,4	34,3	36,9	7,1	469	1,02
4500	14,7	15,9	31,2	33,7	7,2	492	1,02
4750	14,3	15,4	28,8	31,0	7,3	513	1,00
5000	13,9	14,9	26,5	28,5	7,3	525	1,00
5250	12,8	13,8	23,2	25,0	6,9	544	1,04
5500	10,8	11,6	18,7	20,1	7,0	651	1,10
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---



Tabela A.32: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,3	11,4	66	72,8	4,7	457	1,00
1750	11,5	12,7	63	69,5	5,2	453	1,00
2000	12,1	13,4	58	64,0	5,5	452	1,00
2250	12,4	13,8	53	58,7	5,8	469	1,00
2500	12,7	14,1	48	53,9	6,0	475	1,00
2750	12,6	14,0	44	48,8	6,3	496	1,00
3000	12,4	13,8	40	44,0	6,7	538	1,00
3250	12,1	13,5	35	39,6	6,7	552	0,99
3500	11,7	13,0	32	35,6	6,3	542	0,99
3750	11,1	12,4	28	31,6	6,9	618	0,99
4000	10,5	11,7	25	28,0	---	---	0,99
4250	9,6	10,7	21	24,0	6,7	698	0,99
4500	8,7	9,7	18	20,7	6,2	710	0,99
4750	7,8	8,7	16	17,5	6,7	866	1,00
5000	6,8	7,6	13	14,6	6,7	989	1,00
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	-----	---	---

Tabela A.33: Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,1	11,4	64	72,8	4,4	439	1,01
1750	11,2	12,7	61	69,3	---	---	1,01
2000	11,7	13,3	56	63,7	5,0	427	1,01
2250	12,2	13,8	52	58,7	5,7	466	1,00
2500	12,5	14,3	48	54,7	5,6	445	1,00
2750	12,6	14,5	44	50,2	6,1	479	1,00
3000	12,5	14,3	40	45,5	6,3	505	1,00
3250	12,1	13,8	36	40,6	6,1	505	1,00
3500	11,6	13,2	32	36,1	---	---	1,00
3750	11,0	12,6	28	32,2	6,5	589	1,00
4000	10,2	11,7	24	28,0	6,5	637	1,00
4250	9,6	10,9	21	24,6	6,2	654	1,00
4500	8,8	10,0	19	21,3	6,3	716	1,00
4750	8,0	9,1	16	18,4	---	---	1,00
5000	7,2	8,2	14	15,7	6,1	851	1,00
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---

### A.3. Resultados do motor funcionando com GMV com razões de compressão de 11:1, 12,5:1 e 15:1

Tabela A.34: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,3	12,5	72,0	79,4	2,6	233	1,00
1750	13,2	14,6	72,1	79,5	3,1	233	1,01
2000	15,9	17,6	76,0	83,8	3,7	234	1,01
2250	19,0	21,0	80,7	88,9	4,4	232	1,01
2500	21,1	23,2	80,5	88,8	4,8	228	1,01
2750	22,8	25,1	79,2	87,3	5,3	231	1,01
3000	24,2	26,7	77,1	84,9	5,73	236	1,00
3250	26,0	28,6	76,3	84,1	6,23	241	1,00
3500	27,6	30,4	75,2	82,8	6,63	240	1,00
3750	29,3	32,3	74,6	82,3	7,2	245	1,00
4000	31,1	34,3	74,3	81,9	7,7	247	1,00
4250	32,6	36,0	73,3	80,8	8,1	250	1,00
4500	33,8	37,3	71,7	79,2	8,6	254	1,00
4750	34,6	38,2	69,6	76,8	9,0	259	1,00
5000	35,2	38,8	67,3	74,2	9,2	260	1,00
5250	35,4	39,1	64,4	71,1	9,5	268	1,00
5500	35,8	39,5	62,1	68,6	9,6	269	1,00
5750	35,3	38,8	58,6	64,5	9,8	277	1,00
6000	34,6	38,0	55,0	60,4	9,8	285	1,00
6250	33,6	36,9	51,4	56,4	9,9	293	1,00
6500	32,0	35,0	47,0	51,5	9,8	306	1,00

Tabela A.35: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,2	12,8	71	81,7	2,7	238	1,00
1750	13,2	15,1	72	82,3	3,1	236	1,00
2000	15,6	17,9	75	85,3	3,7	237	1,00
2250	18,8	21,4	80	91,0	4,7	237	1,00
2500	21,0	23,9	80	91,1	4,8	230	1,01
2750	22,9	26,1	80	90,5	5,3	230	1,00
3000	24,5	28,0	78	89,0	5,8	235	1,01
3250	26,4	30,3	78	88,9	6,2	237	1,01
3500	28,2	32,3	77	88,2	6,7	237	1,01
3750	29,8	34,2	76	87,1	7,2	240	1,01
4000	31,7	36,4	76	86,8	7,7	243	1,01
4250	33,6	38,6	76	86,7	8,2	245	1,00
4500	35,0	40,2	74	85,3	8,7	247	1,01
4750	35,8	41,0	72	82,5	9,1	254	1,00
5000	36,4	41,7	69	79,7	9,4	258	1,00
5250	37,2	42,6	68	77,5	9,7	260	1,00
5500	37,2	42,7	65	74,2	9,9	265	1,00
5750	37,1	42,5	62	70,5	10,0	271	1,00
6000	36,4	41,7	58	66,4	10,1	277	1,00
6250	35,5	40,7	54	62,1	10,1	285	1,00
6500	33,9	38,8	50	57,1	10,1	298	1,00

Tabela A.36: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 100% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,0	12,5	70	79,5	2,7	245	1,00
1750	13,0	14,8	71	80,6	3,1	240	1,00
2000	15,5	17,6	74	84,0	3,7	240	1,00
2250	18,8	21,4	80	90,9	4,4	236	1,00
2500	21,1	23,9	81	91,5	4,9	231	1,00
2750	22,9	26,0	80	90,4	5,3	230	1,00
3000	24,5	27,9	78	88,8	5,9	239	1,00
3250	26,5	29,9	78	87,7	6,3	240	1,00
3500	28,2	31,8	77	86,9	6,8	242	1,00
3750	30,1	33,9	77	86,3	7,3	244	1,00
4000	31,8	36,1	76	86,2	7,8	247	1,00
4250	33,7	38,0	76	85,3	8,4	249	1,00
4500	34,7	39,3	74	83,4	8,8	254	1,00
4750	35,9	40,8	72	81,9	9,3	258	1,00
5000	36,6	41,5	70	79,3	9,6	261	1,00
5250	38,1	43,0	69	78,3	9,8	258	1,00
5500	38,5	43,7	67	75,8	10,2	266	1,00
5750	38,2	43,0	63	71,4	10,3	270	1,00
6000	37,4	42,1	59	67,0	10,5	280	1,00
6250	36,6	41,2	56	63,0	10,5	287	1,00
6500	35,1	39,5	52	58,0	10,4	297	1,00

Tabela A.37: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,1	12,4	71,0	79,1	2,6	233	1,00
1750	13,1	14,6	71,3	79,4	3,1	234	1,00
2000	15,5	17,3	74,1	82,6	3,6	235	1,00
2250	18,4	20,6	78,2	87,2	4,3	233	1,00
2500	20,5	22,8	78,2	87,2	4,7	230	1,00
2750	22,1	24,7	76,8	85,7	5,2	233	1,00
3000	23,5	26,2	74,8	83,4	5,6	240	1,00
3250	25,1	28,0	73,7	82,2	6,0	240	1,00
3500	26,6	29,6	72,5	80,9	6,5	245	1,00
3750	28,4	31,7	72,2	80,7	7,0	245	1,00
4000	30,0	33,5	71,7	79,9	7,5	250	1,00
4250	31,5	35,3	70,7	79,3	8,0	254	1,00
4500	32,2	36,1	68,4	76,7	8,4	261	1,00
4750	32,7	36,6	65,7	73,6	8,8	268	1,00
5000	33,1	37,0	63,2	70,7	9,0	272	1,00
5250	33,2	37,2	60,4	67,7	9,3	279	1,00
5500	33,4	37,5	58,1	65,1	9,5	283	1,00
5750	33,2	37,2	55,1	61,7	9,6	289	1,00
6000	32,8	36,6	52,2	58,2	9,7	295	1,00
6250	31,9	35,6	48,8	54,3	9,7	304	1,00
6500	30,2	33,6	44,3	49,4	9,6	319	1,00

Tabela A.38: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,3	12,8	72	81,4	2,8	243	1,00
1750	13,3	15,0	73	82,0	3,2	240	1,00
2000	15,7	17,7	75	84,7	3,8	241	1,00
2250	18,8	21,2	80	90,2	4,5	237	1,00
2500	21,0	23,8	80	90,7	4,9	233	1,01
2750	23,0	26,0	80	90,3	5,3	232	1,01
3000	24,7	27,9	78	88,7	5,9	238	1,01
3250	26,5	30,0	78	88,1	6,4	240	1,01
3500	28,5	32,2	78	87,7	6,8	240	1,01
3750	30,3	34,2	77	87,1	7,3	243	1,01
4000	32,0	36,2	76	86,3	7,8	244	1,01
4250	33,9	38,4	76	86,2	8,3	246	1,01
4500	35,3	39,9	75	84,7	8,8	249	1,01
4750	36,1	40,8	73	82,1	9,2	255	1,01
5000	36,6	41,4	70	79,1	9,5	260	1,01
5250	37,1	42,0	68	76,4	9,7	262	1,01
5500	37,5	42,4	65	73,5	10,0	267	1,01
5750	37,0	42,0	61	69,7	10,1	272	1,00
6000	36,5	41,3	58	65,8	10,3	281	1,00
6250	35,2	40,0	54	61,1	10,3	292	1,00
6500	33,6	38,0	49	55,8	10,2	303	1,00

Tabela A.39: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 71,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,0	12,5	70	79,6	2,7	243	1,00
1750	13,0	14,8	71	81,0	3,1	239	1,00
2000	15,3	17,5	73	83,8	3,7	240	1,00
2250	18,5	21,1	78	89,4	4,4	236	1,00
2500	20,7	23,6	79	90,2	4,8	230	1,00
2750	22,6	25,8	79	89,7	5,2	229	1,00
3000	24,3	27,7	77	88,1	5,7	236	1,00
3250	26,1	29,8	77	87,5	6,2	239	1,00
3500	27,8	31,9	76	87,1	6,7	240	1,00
3750	29,6	34,0	75	86,5	7,2	242	1,00
4000	31,2	35,7	74	85,3	7,7	246	1,00
4250	33,0	37,9	74	85,2	8,2	247	1,00
4500	34,0	38,9	72	82,6	8,7	257	1,00
4750	35,2	40,4	71	81,3	9,1	259	1,00
5000	36,0	41,3	69	78,9	9,6	266	1,00
5250	36,9	42,3	67	77,0	9,7	262	1,00
5500	37,1	42,3	64	73,5	9,9	267	1,00
5750	37,2	42,4	62	70,4	10,1	271	1,00
6000	36,4	41,6	58	66,1	10,2	279	1,00
6250	35,6	40,7	54	62,1	10,2	286	1,00
6500	33,8	38,6	50	56,7	10,1	300	1,00



Tabela A.40: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,0	12,1	70	77,2	2,6	239	1,00
1750	12,9	14,3	71	78,1	3,1	240	1,00
2000	14,6	16,2	70	77,6	3,5	241	1,00
2250	16,7	18,6	71	78,9	4,0	240	1,00
2500	18,7	20,8	71	79,5	4,4	236	1,00
2750	20,4	22,7	71	78,9	4,9	238	1,00
3000	21,8	24,2	69	77,1	5,4	246	1,00
3250	23,1	25,6	68	75,3	5,7	248	1,00
3500	24,1	26,8	66	73,2	6,1	252	1,00
3750	25,3	28,2	65	71,8	6,5	255	1,00
4000	26,5	29,5	63	70,3	6,9	260	1,00
4250	27,3	30,4	61	68,2	7,2	265	1,00
4500	28,0	31,3	59	66,5	7,5	268	1,00
4750	28,1	31,5	56	63,3	8,0	283	1,00
5000	27,9	31,2	53	59,6	7,9	285	1,00
5250	27,5	30,8	50	56,0	8,1	295	1,00
5500	27,4	30,7	48	53,3	8,3	302	1,00
5750	26,6	29,9	44	49,6	8,4	314	1,00
6000	25,9	28,9	41	46,0	8,4	322	1,00
6250	24,8	27,6	38	42,2	8,4	340	1,00
6500	23,2	25,9	34	38,0	8,3	358	1,00

Tabela A.41: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,2	12,8	72	81,2	2,7	243	1,00
1750	13,4	15,2	73	83,1	3,2	240	1,01
2000	15,1	17,2	72	82,1	3,7	241	1,01
2250	17,3	19,7	74	83,6	4,1	239	1,01
2500	19,5	22,1	74	84,4	4,6	235	1,01
2750	21,4	24,4	74	84,6	5,0	232	1,01
3000	23,0	26,2	73	83,3	5,5	240	1,01
3250	24,5	27,9	72	81,8	5,9	241	1,01
3500	25,9	29,6	71	80,6	6,3	244	1,01
3750	27,2	30,8	69	78,5	6,7	246	1,01
4000	28,5	32,3	68	77,1	7,1	249	1,01
4250	29,6	33,8	66	75,9	7,5	252	1,01
4500	30,3	34,4	64	73,0	7,7	256	1,00
4750	30,5	34,9	61	70,1	8,1	264	1,00
5000	30,6	34,9	58	66,7	8,3	272	1,00
5250	30,7	34,9	56	63,5	8,6	280	1,00
5500	30,6	34,8	53	60,4	8,8	287	1,00
5750	30,2	34,3	50	56,9	8,8	292	1,00
6000	29,2	33,2	46	52,8	8,9	306	1,00
6250	28,2	32,1	43	49,0	8,9	314	1,00
6500	26,7	30,3	39	44,5	8,8	331	1,00

Tabela A.42: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 43,5% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	11,0	12,4	70	79,2	2,7	246	1,00
1750	13,1	15,0	72	81,7	3,2	241	1,00
2000	14,9	17,0	71	81,2	3,6	243	1,00
2250	17,0	19,5	72	82,6	4,1	239	1,00
2500	19,2	21,9	74	83,8	4,5	234	1,00
2750	21,2	24,1	73	83,8	4,9	233	1,00
3000	22,7	25,9	72	82,5	5,5	241	1,00
3250	24,3	27,7	71	81,4	5,9	243	1,00
3500	25,5	29,1	70	79,4	6,3	246	1,00
3750	26,9	30,6	68	78,0	6,7	248	1,00
4000	28,1	32,0	67	76,4	7,0	251	1,00
4250	29,1	33,3	65	74,7	7,4	256	1,00
4500	29,6	34,0	63	72,1	7,7	261	1,00
4750	30,0	34,4	60	69,1	8,0	267	1,00
5000	30,4	34,9	58	66,6	8,2	271	1,00
5250	30,7	35,2	56	64,0	8,4	274	1,00
5500	30,2	34,6	52	60,0	8,6	286	1,00
5750	29,7	34,0	49	56,5	8,6	288	1,00
6000	28,7	32,9	46	52,4	8,6	300	1,00
6250	27,6	31,6	42	48,3	8,6	313	1,00
6500	26,3	29,9	39	43,9	8,5	324	1,00

Tabela A.43: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,1	11,1	64,4	70,6	2,5	244	1,01
1750	11,8	12,9	64,2	70,4	2,9	244	1,00
2000	12,8	14,0	60,9	66,7	3,2	248	1,01
2250	13,7	15,0	57,9	63,5	3,4	253	1,00
2500	14,8	16,2	56,6	61,8	3,7	247	1,00
2750	15,6	17,0	54,0	58,9	3,9	253	1,00
3000	15,9	17,3	50,6	55,1	4,2	265	1,00
3250	16,0	17,4	46,9	51,1	4,4	274	1,00
3500	16,3	17,8	44,4	48,4	4,5	279	1,00
3750	16,3	17,7	41,4	45,2	4,7	286	1,00
4000	16,1	17,6	38,5	42,0	4,8	297	1,00
4250	15,7	17,1	35,2	38,4	4,9	312	1,00
4500	15,2	16,6	32,3	35,2	5,0	326	1,00
4750	14,3	15,5	28,6	31,2	5,1	355	1,00
5000	13,8	15,0	26,3	28,7	5,1	370	1,00
5250	13,2	14,4	24,1	26,2	5,1	389	1,00
5500	12,1	13,2	21,0	23,0	5,1	424	1,00
5750	11,3	12,4	18,8	20,5	5,2	456	1,00
6000	10,2	11,1	16,2	17,6	5,2	510	1,00
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---

Tabela A.44: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,4	11,7	66	74,7	2,6	246	1,00
1750	12,1	13,7	66	74,9	3,0	245	1,01
2000	13,1	14,9	63	71,3	3,3	249	1,00
2250	14,3	16,3	61	69,0	3,6	250	1,01
2500	15,3	17,4	58	66,6	3,8	250	1,01
2750	16,2	18,4	56	63,9	4,0	249	1,01
3000	16,9	19,1	54	60,9	4,4	260	1,01
3250	17,3	19,6	51	57,6	4,6	264	1,01
3500	17,5	19,8	48	54,1	4,7	270	1,01
3750	17,5	19,9	44	50,6	4,9	277	1,01
4000	17,4	19,8	41	47,2	5,0	287	1,01
4250	17,1	19,5	38	43,7	5,1	299	1,00
4500	16,5	18,8	35	39,9	5,1	311	1,00
4750	15,9	18,1	32	36,4	5,2	329	1,00
5000	15,3	17,4	29	33,2	5,2	342	1,00
5250	14,7	16,7	27	30,4	5,3	358	1,00
5500	14,0	16,0	24	27,7	5,3	378	1,00
5750	13,1	14,9	22	24,8	5,4	408	1,00
6000	11,9	13,5	19	21,5	5,4	451	1,00
6250	10,7	12,2	16	18,6	5,3	493	1,00
6500	---	---	---	---	---	---	---

Tabela A.45: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 25% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	10,2	11,5	65	73,5	2,5	249	1,00
1750	11,9	13,5	65	73,6	2,9	246	1,00
2000	13,0	14,7	62	70,4	3,2	250	1,00
2250	14,2	16,1	60	68,3	3,6	251	1,00
2500	15,3	17,3	58	66,1	3,8	247	1,00
2750	16,1	18,2	56	63,3	4,0	249	1,00
3000	16,7	19,0	53	60,4	4,3	254	1,00
3250	17,1	19,4	50	56,9	4,5	265	1,00
3500	17,3	19,6	47	53,6	4,7	272	1,00
3750	17,1	19,6	44	49,9	4,8	280	1,00
4000	17,0	19,4	41	46,3	4,9	290	1,00
4250	16,8	19,2	38	43,0	5,0	300	1,00
4500	16,4	18,7	35	39,7	5,1	312	1,00
4750	15,8	18,0	32	36,2	5,2	328	1,00
5000	15,2	17,3	29	33,1	5,2	345	1,00
5250	14,5	16,5	26	30,1	5,2	362	1,00
5500	13,7	15,6	24	27,2	5,3	386	1,00
5750	12,8	14,6	21	24,3	5,3	413	1,00
6000	11,5	13,1	18	20,9	5,3	461	1,00
6250	10,5	12,1	16	18,4	5,3	499	1,00
6500	8,9	10,1	13	14,9	5,3	593	1,00

Tabela A.46: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	8,7	9,6	55,3	61,0	2,2	251	1,01
1750	9,7	10,7	52,8	58,3	2,5	254	1,01
2000	9,9	10,9	47,2	52,0	2,7	270	1,00
2250	10,3	11,4	43,6	48,3	2,8	276	1,00
2500	10,4	11,5	39,7	43,8	2,9	280	1,00
2750	10,4	11,5	36,2	40,0	3,0	292	1,00
3000	10,2	11,3	32,5	35,9	3,2	309	1,00
3250	10,1	11,2	29,8	32,8	3,3	321	1,00
3500	9,8	10,8	26,6	29,3	3,3	338	1,00
3750	9,2	10,2	23,5	25,9	3,3	364	1,00
4000	8,6	9,4	20,4	22,5	3,4	396	1,00
4250	7,9	8,7	17,8	19,7	3,4	430	1,00
4500	7,3	8,1	15,6	17,1	3,4	469	1,00
4750	---	---	---	---	---	---	---
5000	---	---	---	---	---	---	---
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---

Tabela A.47: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	9,1	10,2	58	64,8	2,3	252	1,00
1750	10,2	11,4	56	62,4	2,6	252	1,00
2000	10,7	12,0	51	57,3	2,8	258	1,00
2250	11,1	12,5	47	53,1	2,9	264	1,00
2500	11,4	12,8	43	48,8	3,0	267	1,00
2750	11,5	12,9	40	44,8	3,1	271	1,00
3000	11,5	12,9	37	41,1	3,3	288	1,00
3250	11,4	12,8	33	37,5	3,4	298	1,00
3500	11,0	12,3	30	33,6	3,4	313	1,00
3750	10,5	11,8	27	30,1	3,5	330	1,00
4000	9,9	11,2	24	26,7	3,5	352	1,00
4250	9,3	10,4	21	23,4	3,5	380	1,00
4500	8,4	9,4	18	20,0	3,5	420	1,00
4750	7,7	8,6	16	17,4	3,6	464	1,00
5000	7,0	7,8	13	14,9	3,6	516	1,00
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---



Tabela A.48: Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta

<b>Resultados do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 e a UCE MoTeC M4 com 14% borboleta</b>							
<b>Rotação</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Corrigida</b>	<b>Torque</b>	<b>Torque Corrigido</b>	<b>Consumo</b>	<b>SFC</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>rpm</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>N.m</b>	<b>N.m</b>	<b>kg/h</b>	<b>g/kWh</b>	
1500	8,8	10,1	56	64,2	2,3	255	1,00
1750	10,0	11,4	54	62,1	2,5	253	1,00
2000	10,3	11,8	49	56,4	2,7	265	1,00
2250	11,0	12,6	47	53,4	2,9	267	1,00
2500	11,3	12,9	43	49,1	3,0	268	1,00
2750	11,4	12,9	40	44,9	3,1	273	1,00
3000	11,2	12,7	36	40,3	3,4	299	1,00
3250	11,0	12,5	32	36,7	3,4	305	1,00
3500	10,7	12,1	29	33,1	3,4	318	1,00
3750	10,1	11,5	26	29,3	3,5	343	1,00
4000	9,4	10,6	22	25,4	3,5	372	1,00
4250	8,6	9,8	19	22,0	3,5	407	1,00
4500	7,9	9,0	17	19,1	3,5	447	1,00
4750	7,1	8,0	14	16,1	3,6	506	1,00
5000	---	---	---	---	---	---	---
5250	---	---	---	---	---	---	---
5500	---	---	---	---	---	---	---
5750	---	---	---	---	---	---	---
6000	---	---	---	---	---	---	---
6250	---	---	---	---	---	---	---
6500	---	---	---	---	---	---	---

#### A.4. Tabelas de calibração do tempo de injeção de combustível

As tabelas de calibração do tempo de injeção de combustível são apresentadas em função da rotação do motor em rpm e do parâmetro de carga EFF. Os valores do tempo de injeção são apresentados como porcentagem de IJPU.

Tabela A.49: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 15 ms

Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 15 ms												
EFF	Rotação do motor (rpm)											
MAP/BAP	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
0%	20,0	20,0	18,5	10,5	10,0	10,5	12,0	13,0	12,0	12,0	12,0	12,0
20%	20,0	20,0	18,5	10,5	10,0	10,5	12,0	13,0	12,0	12,0	12,0	12,0
40%	25,5	26,5	23,5	15,5	15,0	15,5	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0
60%	27,5	28,5	30,5	32,0	30,5	29,0	30,5	30,0	28,0	26,5	23,5	21,0
80%	41,0	45,0	45,0	45,0	45,0	44,0	45,5	46,0	44,0	42,5	39,5	34,0
100%	58,0	60,0	68,5	69,0	67,0	68,0	66,5	65,5	63,0	60,5	56,0	50,5

Tabela A.50: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 15 ms

Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 15 ms												
EFF	Rotação do motor (rpm)											
%TP	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
0%	49,5	44,5	40,5	35,0	29,0	26,0	23,5	21,0	18,0	18,0	18,0	18,0
10%	52,5	50,0	45,5	41,0	36,5	31,0	26,0	25,0	22,5	19,0	19,5	19,5
20%	56,0	56,0	53,5	52,0	47,5	41,5	38,5	36,0	33,5	29,0	27,5	24,5
30%	58,0	59,0	59,5	60,5	57,5	54,5	51,5	49,5	47,5	43,5	40,5	37,0
40%	57,5	60,5	62,5	64,5	63,5	61,0	60,5	58,5	57,5	54,0	51,5	47,5
50%	57,0	61,0	63,0	67,5	65,0	64,5	64,0	64,0	63,5	59,5	56,0	52,5
60%	59,5	60,5	63,5	68,0	66,5	66,0	66,0	66,5	66,0	62,0	59,0	54,5
70%	59,5	60,5	64,0	68,5	66,5	66,5	68,0	67,5	67,5	64,0	60,5	55,5
80%	57,5	61,0	64,5	69,0	67,0	67,0	68,0	67,5	68,0	64,0	61,0	56,5
90%	57,5	61,0	64,5	69,0	66,5	67,0	68,0	67,5	67,5	63,5	61,0	56,0
100%	57,5	61,0	64,5	69,0	66,5	67,0	67,0	67,0	68,0	63,5	61,0	56,0

Tabela A.51: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 20 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 20 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>MAP/ BAP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	15,0	15,0	14,0	14,0	14,0	11,0	11,5	12,5	12,0	10,5	10,0	9,5
<b>20%</b>	15,0	15,0	14,0	14,0	14,0	11,0	11,5	12,5	12,0	10,5	10,0	9,5
<b>40%</b>	19,0	19,0	19,5	20,0	19,5	18,5	19,0	18,5	17,5	14,5	13,0	12,0
<b>60%</b>	31,0	33,0	34,5	34,0	33,0	32,5	33,5	33,5	32,5	31,5	28,5	25,5
<b>80%</b>	44,0	50,0	49,0	48,5	49,0	49,5	50,0	50,0	47,5	44,5	43,0	37,5
<b>100%</b>	66,5	66,5	75,0	73,5	74,5	73,0	73,0	72,5	70,5	65,5	62,0	55,0

Tabela A.52: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 20 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 20 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	45,0	37,0	29,0	22,0	18,5	16,0	14,0	13,0	11,0	9,0	8,0	7,0
<b>10%</b>	50,0	44,5	39,5	33,0	27,5	23,0	20,0	17,5	15,5	15,0	12,0	11,0
<b>20%</b>	53,0	51,0	46,5	42,0	37,0	33,0	29,5	26,0	23,5	21,0	18,5	15,5
<b>30%</b>	55,5	57,0	54,0	52,5	48,5	45,0	43,0	39,5	36,5	33,5	31,0	28,0
<b>40%</b>	55,5	57,5	57,0	58,0	56,5	55,0	53,0	50,5	48,0	44,5	41,0	37,5
<b>50%</b>	55,5	58,0	58,5	62,5	60,0	59,0	58,5	57,0	54,5	51,5	48,0	43,5
<b>60%</b>	56,5	58,0	59,0	63,0	62,0	61,0	61,0	60,0	58,0	55,0	51,5	47,0
<b>70%</b>	57,5	58,5	61,5	65,0	63,5	63,5	62,5	67,0	66,5	61,0	58,0	52,0
<b>80%</b>	59,0	62,0	65,0	67,5	68,5	67,0	69,0	67,0	68,0	63,0	60,0	53,0
<b>90%</b>	59,0	62,0	65,0	67,5	68,5	67,0	69,0	67,0	68,0	63,0	60,0	53,0
<b>100%</b>	59,0	62,0	65,0	67,5	68,5	67,0	69,0	67,0	68,0	63,0	60,0	53,0

Tabela A.53: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 20 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 20 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	44,0	36,5	31,0	24,0	19,0	17,0	14,0	13,0	12,0	9,0	8,0	7,0
<b>10%</b>	49,0	43,5	38,0	32,0	27,0	23,0	20,0	18,0	15,0	14,0	13,0	11,0
<b>20%</b>	53,0	50,5	45,5	42,0	37,0	32,5	29,5	26,5	24,0	21,5	19,5	15,5
<b>30%</b>	55,0	55,0	53,0	51,5	48,5	45,5	43,0	40,0	36,5	34,0	31,0	28,0
<b>40%</b>	55,5	57,0	57,0	57,5	56,5	55,0	53,0	50,5	47,5	45,0	41,5	37,5
<b>50%</b>	55,0	57,0	58,5	60,5	60,5	59,0	58,0	57,0	54,0	52,0	48,5	43,5
<b>60%</b>	55,0	57,0	59,5	62,5	62,0	61,0	60,5	60,0	57,5	55,5	52,0	47,0
<b>70%</b>	55,0	57,5	60,0	63,5	62,5	62,0	61,5	65,5	66,0	60,5	58,0	51,5
<b>80%</b>	58,5	60,5	63,0	65,5	67,0	66,5	67,0	66,5	67,0	62,0	60,0	53,5
<b>90%</b>	58,5	60,5	63,0	65,5	67,0	66,5	67,0	66,5	67,0	62,5	60,0	53,5
<b>100%</b>	58,5	60,5	63,0	65,5	67,0	66,5	67,0	66,5	67,0	62,5	60,0	53,5

Tabela A.54: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 10 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1 – IJPU = 10 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	45,0	45,0	42,0	39,0	35,0	30,0	26,0	21,0	18,0	15,0	13,0	12,0
<b>10%</b>	50,5	50,5	46,5	43,0	37,0	32,5	29,5	26,5	23,5	20,0	17,0	17,0
<b>20%</b>	59,0	57,0	55,0	53,0	48,0	43,5	40,0	37,0	34,5	31,5	28,5	28,5
<b>30%</b>	61,0	60,5	61,0	61,0	58,0	55,0	52,0	49,5	45,5	44,0	40,0	37,0
<b>40%</b>	61,5	61,0	62,0	65,0	62,0	61,0	60,5	58,0	54,5	52,5	48,5	44,5
<b>50%</b>	61,5	61,5	63,5	67,5	64,0	64,0	64,5	62,5	60,0	57,5	53,5	49,5
<b>60%</b>	61,5	61,5	65,0	69,5	65,0	66,5	64,5	67,0	62,0	60,0	57,0	52,0
<b>70%</b>	61,0	61,0	65,5	70,0	65,5	66,5	66,0	68,0	64,5	61,0	58,0	54,5
<b>80%</b>	61,0	61,0	66,0	70,0	66,0	67,0	67,5	68,5	65,5	62,0	58,0	54,0
<b>90%</b>	61,5	61,5	66,0	70,5	65,5	67,5	66,5	67,5	64,5	61,5	58,5	54,0
<b>100%</b>	61,0	61,0	67,0	71,5	65,5	71,5	72,0	71,0	65,5	62,5	60,0	54,5

Tabela A.55: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 10 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1 – IJPU = 10 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	49,5	44,5	40,5	35,0	29,0	26,0	23,5	21,0	18,0	18,0	18,0	18,0
<b>10%</b>	52,5	50,0	45,5	41,0	36,5	31,0	26,0	25,0	22,5	19,0	19,5	19,5
<b>20%</b>	56,0	56,0	53,5	52,0	47,5	41,5	38,5	36,0	33,5	29,0	27,5	24,5
<b>30%</b>	58,0	59,0	59,5	60,5	57,5	54,5	51,5	49,5	47,5	43,5	40,5	37,0
<b>40%</b>	57,5	60,5	62,5	64,5	63,5	61,0	60,5	58,5	57,5	54,0	51,5	47,5
<b>50%</b>	57,0	61,0	63,0	67,5	65,0	64,5	64,0	64,0	63,5	59,5	56,0	52,5
<b>60%</b>	59,5	60,5	63,5	68,0	66,5	66,0	66,0	66,5	66,0	62,0	59,0	54,5
<b>70%</b>	59,5	60,5	64,0	68,5	66,5	66,5	68,0	67,5	67,5	64,0	60,5	55,5
<b>80%</b>	57,5	61,0	64,5	69,0	67,0	67,0	68,0	67,5	68,0	64,0	61,0	56,5
<b>90%</b>	57,5	61,0	64,5	69,0	66,5	67,0	68,0	67,5	67,5	63,5	61,0	56,0
<b>100%</b>	57,5	61,0	64,5	69,0	66,5	67,0	67,0	67,0	68,0	63,5	61,0	56,0

Tabela A.56: Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 10 ms

<b>Tabela de tempo de injeção de combustível do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1 – IJPU = 10 ms</b>												
<b>EFF</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	48,0	43,5	39,5	32,0	27,0	26,0	23,5	21,0	18,0	17,0	16,5	15,5
<b>10%</b>	52,0	49,0	45,5	40,5	35,0	32,0	26,0	25,0	22,5	19,0	19,5	19,5
<b>20%</b>	55,0	55,0	53,0	51,0	46,5	41,5	36,5	36,5	32,5	29,0	27,5	24,5
<b>30%</b>	56,5	58,5	58,0	59,0	56,0	52,5	50,5	48,0	46,0	43,5	39,0	35,0
<b>40%</b>	57,5	59,0	61,0	63,5	61,0	60,5	59,0	57,5	56,5	54,0	49,0	46,0
<b>50%</b>	56,0	59,0	62,0	66,0	64,0	63,0	63,0	61,5	60,0	59,5	54,0	51,0
<b>60%</b>	56,0	60,0	63,0	67,0	65,0	65,0	65,0	65,0	62,5	63,0	57,0	52,5
<b>70%</b>	56,0	60,0	63,0	67,5	65,0	65,0	65,5	66,0	65,0	63,0	59,5	53,5
<b>80%</b>	55,5	59,5	63,0	67,5	65,5	65,5	66,0	67,0	66,0	65,0	60,0	54,0
<b>90%</b>	56,0	59,0	63,0	67,5	65,5	65,5	65,5	67,0	66,0	65,0	60,0	54,0
<b>100%</b>	56,0	59,5	63,0	67,5	65,5	65,5	65,5	67,0	66,0	65,0	60,0	54,0

### A.5. Tabelas de calibração do ângulo de avanço de ignição

As tabelas de calibração do ângulo de avanço de ignição são apresentadas em função da rotação do motor em rpm e do parâmetro de carga LOAd. Os valores do ângulo de avanço de ignição são apresentados em graus antes do ponto morto superior.

Tabela A.57: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 11:1</b>												
<b>LOAd</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	17,0	24,0	30,0	26,0	28,0	28,0	27,0	30,0	31,0	35,0	33,0	33,0
<b>20%</b>	16,5	23,0	28,0	24,0	26,0	27,0	26,0	27,0	27,0	32,0	32,0	32,0
<b>40%</b>	16,0	22,5	26,5	31,0	30,5	34,0	34,5	34,0	34,5	33,0	35,0	33,0
<b>60%</b>	15,5	21,5	25,5	27,5	27,5	29,0	29,0	31,0	31,5	35,0	36,5	38,0
<b>80%</b>	8,5	14,5	18,5	18,0	20,5	21,5	21,5	22,5	24,5	29,0	35,0	35,0
<b>100%</b>	3,5	8,0	8,5	11,0	16,0	15,5	17,0	18,0	19,5	23,5	27,5	33,0

Tabela A.58: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com gasolina com a razão de compressão de 12,5:1</b>												
<b>LOAd</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	8,0	14,0	21,0	25,0	29,0	32,0	34,5	35,0	30,0	37,0	38,0	39,0
<b>10%</b>	6,0	11,5	18,0	22,5	27,0	30,5	32,5	32,5	29,0	35,0	36,0	38,0
<b>20%</b>	3,5	9,0	13,5	16,0	18,0	21,0	23,0	24,5	28,0	33,0	34,5	36,0
<b>30%</b>	2,5	7,5	11,5	13,5	16,0	16,5	16,5	20,0	21,5	24,5	27,5	34,5
<b>40%</b>	1,5	7,0	10,5	12,0	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,5	21,0	25,5
<b>50%</b>	1,0	7,0	10,0	11,0	13,5	13,5	14,0	14,5	15,0	17,5	19,0	23,0
<b>60%</b>	1,0	7,0	9,5	11,0	13,5	13,5	13,5	14,0	14,5	16,5	18,5	22,0
<b>70%</b>	1,0	7,0	9,0	10,5	13,5	13,5	13,5	14,0	14,5	16,0	18,0	21,5
<b>80%</b>	1,0	7,0	8,0	9,5	12,5	12,5	13,0	14,0	14,5	16,0	18,0	21,0
<b>90%</b>	1,0	7,0	8,0	9,5	12,5	12,5	13,0	14,0	14,5	16,0	18,0	21,0
<b>100%</b>	1,0	7,0	8,0	9,5	12,5	12,5	13,0	14,0	14,5	16,0	18,0	21,0

Tabela A.59: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 11:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>MAP/ BAP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	17,0	24,0	30,0	37,0	35,0	32,0	32,5	36,0	39,0	36,0	42,5	46,5
<b>20%</b>	16,5	23,0	28,0	36,0	34,0	31,0	31,5	35,0	38,0	35,0	41,5	45,5
<b>40%</b>	21,0	26,0	34,0	34,0	32,0	29,0	30,5	34,0	37,0	34,0	40,5	44,5
<b>60%</b>	21,5	25,0	26,5	31,0	33,0	35,0	34,0	32,5	35,5	36,5	37,0	42,5
<b>80%</b>	19,0	24,0	26,5	26,0	28,0	32,0	31,5	30,5	31,5	33,0	33,0	36,5
<b>100%</b>	18,5	21,5	21,0	24,0	25,0	24,0	25,5	28,0	31,0	28,5	30,0	34,5

Tabela A.60: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 12,5:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	19,0	23,0	29,0	28,0	34,0	35,0	38,0	38,0	42,0	44,0	42,0	43,0
<b>10%</b>	16,0	20,5	25,0	28,0	32,0	33,0	36,5	37,0	41,0	43,0	41,0	42,0
<b>20%</b>	16,0	19,5	25,0	29,0	29,5	33,0	33,0	33,0	38,5	42,0	42,5	41,0
<b>30%</b>	15,0	19,0	22,0	25,0	27,5	29,5	30,0	30,0	34,0	38,0	34,0	38,0
<b>40%</b>	14,5	18,5	20,5	23,0	25,5	26,0	26,5	26,0	27,5	30,5	33,0	36,0
<b>50%</b>	12,5	18,5	19,5	22,0	24,5	26,0	25,0	25,5	27,0	28,5	30,5	35,0
<b>60%</b>	12,5	18,0	19,0	22,0	24,5	25,0	24,5	25,0	25,0	28,0	29,5	34,5
<b>70%</b>	15,5	17,5	19,0	22,0	24,5	24,5	24,5	24,0	25,5	26,5	29,5	33,5
<b>80%</b>	15,5	18,0	18,0	19,5	22,5	22,5	22,5	23,5	25,0	27,0	29,5	32,5
<b>90%</b>	15,5	18,0	18,0	19,5	22,5	22,5	22,5	23,5	25,0	27,0	29,5	32,5
<b>100%</b>	15,5	18,0	18,0	19,5	22,5	22,5	22,5	23,5	25,0	27,0	29,5	32,5

Tabela A.61: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com álcool etílico com a razão de compressão de 15:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	16,5	20,0	24,5	28,0	32,5	32,0	34,5	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0
<b>10%</b>	15,5	18,5	22,5	26,5	30,0	30,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0
<b>20%</b>	14,0	17,0	20,0	22,0	24,0	25,5	26,5	28,5	29,5	33,5	35,0	36,5
<b>30%</b>	13,5	16,0	18,0	19,5	21,0	22,0	22,0	23,5	24,5	27,5	29,0	32,5
<b>40%</b>	13,0	16,0	17,5	19,0	19,5	20,5	19,5	21,0	22,5	24,0	26,0	30,0
<b>50%</b>	13,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	19,0	19,5	21,5	22,5	24,5	28,0
<b>60%</b>	13,0	16,0	16,0	17,5	19,0	19,5	18,5	19,5	21,0	22,0	24,0	27,0
<b>70%</b>	13,0	15,5	16,0	17,0	18,5	19,0	18,5	18,5	21,0	22,0	23,5	26,5
<b>80%</b>	13,0	15,5	15,5	16,5	18,5	18,5	18,0	18,5	20,0	22,0	23,0	26,0
<b>90%</b>	13,0	15,5	15,5	16,5	18,5	18,5	18,0	18,5	20,0	22,0	23,5	26,0
<b>100%</b>	13,0	15,5	15,5	16,5	18,5	18,5	18,0	18,5	20,0	22,0	23,5	26,0

Tabela A.62: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 11:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	18,0	24,0	28,0	30,0	32,0	33,0	34,0	34,0	34,0	34,0	35,0	35,0
<b>10%</b>	18,0	26,0	28,0	30,5	33,0	34,0	36,0	37,0	32,0	32,0	35,0	35,0
<b>20%</b>	19,0	23,0	30,0	32,0	30,0	33,5	34,5	34,5	36,0	38,0	40,0	40,0
<b>30%</b>	19,0	25,0	28,0	29,5	30,5	31,0	33,0	32,5	34,0	33,0	34,5	37,0
<b>40%</b>	21,0	22,0	26,0	29,5	30,0	30,0	32,0	33,0	35,0	33,0	34,5	37,5
<b>50%</b>	24,0	24,0	26,5	28,5	30,0	32,0	31,0	32,0	33,5	33,5	34,0	38,0
<b>60%</b>	25,5	25,5	25,0	28,0	31,0	31,5	30,0	30,0	32,0	32,0	32,5	33,0
<b>70%</b>	25,0	25,0	27,0	28,0	30,0	31,0	32,0	31,0	31,0	31,0	33,5	36,0
<b>80%</b>	17,5	22,0	27,5	30,5	31,0	31,0	32,0	34,0	32,5	34,0	35,0	35,5
<b>90%</b>	17,5	22,0	27,5	30,5	31,0	31,0	32,0	34,0	32,5	34,0	35,0	35,5
<b>100%</b>	17,5	22,0	27,5	30,5	31,0	31,0	32,0	34,0	32,5	34,0	35,0	35,5



Tabela A.63: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV  
com a razão de compressão de 12,5:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 12,5:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	25,5	26,5	30,0	35,0	32,5	38,5	36,5	37,0	40,0	40,0	40,5	40,0
<b>10%</b>	23,0	25,0	29,0	32,0	31,5	35,5	33,0	35,0	39,0	39,0	39,5	39,0
<b>20%</b>	19,0	24,0	28,0	29,5	30,5	31,5	33,0	33,5	34,5	34,5	37,5	37,0
<b>30%</b>	20,0	23,5	27,5	28,0	30,5	31,5	31,0	30,0	33,5	33,5	33,5	37,0
<b>40%</b>	19,0	22,5	27,0	27,5	30,5	30,5	31,5	30,0	34,0	32,5	32,5	36,5
<b>50%</b>	20,0	22,5	26,5	27,0	31,0	30,0	32,0	32,0	32,5	33,0	34,5	37,0
<b>60%</b>	20,0	21,5	26,0	26,5	31,0	30,5	32,0	31,5	33,5	33,0	34,0	35,5
<b>70%</b>	20,0	21,0	25,0	26,5	28,5	30,5	31,5	31,0	31,5	31,5	33,0	35,0
<b>80%</b>	20,0	22,0	25,0	26,0	27,5	31,0	31,5	31,5	31,0	32,0	32,5	34,5
<b>90%</b>	20,0	21,0	25,0	26,0	27,5	31,0	31,5	32,0	32,0	32,0	32,5	34,0
<b>100%</b>	20,0	21,0	25,0	26,0	27,5	31,0	32,5	32,0	31,5	32,0	33,0	34,0

Tabela A.64: Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV  
com a razão de compressão de 15:1

<b>Tabela de ângulo de avanço de ignição do motor funcionando com GMV com a razão de compressão de 15:1</b>												
<b>LOAD</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>											
<b>%TP</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>	<b>5500</b>	<b>6000</b>	<b>6500</b>
<b>0%</b>	20,0	27,0	28,5	33,0	37,5	37,0	38,0	38,0	36,5	38,5	40,0	40,5
<b>10%</b>	18,5	26,0	27,5	32,5	36,5	37,0	37,0	37,0	35,5	37,0	39,5	40,0
<b>20%</b>	19,0	24,5	27,0	30,5	32,0	34,5	33,0	34,5	34,5	36,0	38,5	39,0
<b>30%</b>	19,0	24,0	26,0	29,0	29,0	32,0	32,0	32,0	33,5	33,5	37,5	38,0
<b>40%</b>	19,0	23,5	26,0	27,0	28,5	29,0	29,5	28,0	30,0	32,0	33,5	37,5
<b>50%</b>	19,0	23,5	25,0	26,0	27,0	28,5	27,5	27,5	29,0	31,0	34,0	34,5
<b>60%</b>	19,0	23,0	25,5	25,5	27,5	27,5	27,5	26,5	28,0	31,0	32,5	34,5
<b>70%</b>	19,0	24,0	24,5	25,0	27,5	28,0	27,5	26,0	28,0	30,0	31,5	35,0
<b>80%</b>	19,0	24,0	25,0	25,5	27,5	27,5	27,0	26,0	27,5	31,0	31,5	33,5
<b>90%</b>	19,0	24,0	25,0	25,5	27,0	27,5	27,0	26,0	27,5	31,0	31,5	33,5
<b>100%</b>	19,0	24,0	25,0	25,5	27,0	27,5	27,5	26,0	27,5	31,0	31,5	33,5

## ANEXO B

### FATORES DE CORREÇÃO E CONDIÇÕES DE ENSAIO

As tabelas apresentadas abaixo mostram, para cada ensaio, o valor do fator de correção e a condições ambiente durante os ensaios, como manda a norma NBR-1585, no caso do ensaio apresentar um fator de correção para potência e torque inferior a 0,93 e superior a 1,07.

#### B.4 Tabelas de fator de correção e condições de ensaio com a gasolina

Tabela B.1: Tabelas de fator de correção e condições de ensaio com a gasolina

<b>Gasolina</b>							
<b>ECU</b>	<b>r<sub>c</sub></b>	<b>Carga</b>	<b>Fator de correção</b>	<b>P<sub>atm</sub></b>	<b>T<sub>ar</sub></b>	<b>U<sub>r</sub></b>	<b>T<sub>água</sub></b>
		<b>% TP</b>		<b>kPa</b>	<b>K</b>	<b>%</b>	<b>K</b>
original	11:1	100 %	1,11	93,1	301	50	359
original	11:1	71,5 %	1,12	92,7	301	52	360
original	11:1	43,5 %	1,12	92,7	300	56	361
original	11:1	25,0 %	1,12	92,6	302	41	362
MoTeC M4	11:1	100 %	1,09	93,5	300	39	361
MoTeC M4	11:1	71,5 %	1,09	93,5	299	26	360
MoTeC M4	11:1	43,5 %	1,10	93,3	301	40	360
MoTeC M4	11:1	25,0 %	1,09	93,5	299	47	360
MoTeC M4	11:1	14,0 %	1,09	93,5	299	45	360
MoTeC M4	12,5:1	100 %	1,14	92,0	304	57	364
MoTeC M4	12,5:1	71,5 %	1,12	93,4	300	84	364
MoTeC M4	12,5:1	43,5 %	1,12	92,9	300	78	364
MoTeC M4	12,5:1	25,0 %	1,13	92,3	300	76	365
MoTeC M4	12,5:1	14,0 %	1,14	92,1	301	73	365
MoTeC M4	15:1	100 %	---	---	---	---	---
MoTeC M4	15:1	71,5 %	---	---	---	---	---
MoTeC M4	15:1	43,5 %	---	---	---	---	---
MoTeC M4	15:1	25,0 %	---	---	---	---	---
MoTeC M4	15:1	14,0 %	---	---	---	---	---

## B.5 Tabelas de correção e condições de ensaio com álcool etílico

Tabela B.2: Tabelas de fator de correção e condições de ensaio com o álcool etílico

<b>Álcool etílico</b>							
<b>ECU</b>	<b>r<sub>c</sub></b>	<b>Carga</b>	<b>Fator de correção</b>	<b>P<sub>atm</sub></b>	<b>T<sub>ar</sub></b>	<b>U<sub>r</sub></b>	<b>T<sub>água</sub></b>
		<b>% TP</b>		<b>kPa</b>	<b>K</b>	<b>%</b>	<b>K</b>
original	11:1	100 %	1,11	93,1	300	65	361
original	11:1	71,5 %	1,11	93,4	300	65	361
original	11:1	43,5 %	1,11	93,5	302	51	362
original	11:1	25,0 %	1,11	93,7	302	54	362
MoTeC M4	11:1	100 %	1,11	92,6	300	36	360
MoTeC M4	11:1	71,5 %	1,11	92,5	300	34	360
MoTeC M4	11:1	43,5 %	1,08	93,4	294	57	363
MoTeC M4	11:1	25,0 %	1,09	93,1	297	44	363
MoTeC M4	11:1	14,0 %	1,08	93,4	293	54	363
MoTeC M4	12,5:1	100 %	1,14	92,0	301	74	364
MoTeC M4	12,5:1	71,5 %	1,13	92,0	299	74	364
MoTeC M4	12,5:1	43,5 %	1,12	92,1	297	81	364
MoTeC M4	12,5:1	25,0 %	1,12	92,1	296	85	363
MoTeC M4	12,5:1	14,0 %	1,12	92,1	295	88	363
MoTeC M4	15:1	100 %	1,15	92,0	304	60	364
MoTeC M4	15:1	71,5 %	1,14	92,0	303	68	364
MoTeC M4	15:1	43,5 %	1,13	92,4	300	76	364
MoTeC M4	15:1	25,0 %	1,14	92,2	301	73	364
MoTeC M4	15:1	14,0 %	1,14	92,0	302	67	364

## B.6 Tabelas de correção e condições de ensaio com GMV

Tabela B.3: Tabelas de fator de correção e condições de ensaio com o GMV

GMV							
ECU	$r_c$	Carga	Fator de correção	$T_{ar}$	$P_{atm}$	$U_r$	$T_{água}$
		% TP		K	kPa	%	K
original	11:1	100 %	---	---	---	---	
original	11:1	71,5 %	---	---	---	---	
original	11:1	43,5 %	---	---	---	---	
original	11:1	25,0 %	---	---	---	---	
MoTeC M4	11:1	100 %	1,10	93,0	299	47	363
MoTeC M4	11:1	71,5 %	1,12	92,4	302	36	365
MoTeC M4	11:1	43,5 %	1,11	92,5	302	38	364
MoTeC M4	11:1	25,0 %	1,09	93,4	296	60	365
MoTeC M4	11:1	14,0 %	1,10	93,1	299	48	363
MoTeC M4	12,5:1	100 %	1,14	91,5	303	54	364
MoTeC M4	12,5:1	71,5 %	1,13	92,1	300	73	364
MoTeC M4	12,5:1	43,5 %	1,14	91,9	302	61	364
MoTeC M4	12,5:1	25,0 %	1,14	92,0	300	81	365
MoTeC M4	12,5:1	14,0 %	1,12	92,2	299	62	365
MoTeC M4	15:1	100 %	1,13	92,2	301	70	364
MoTeC M4	15:1	71,5 %	1,14	91,9	304	57	364
MoTeC M4	15:1	43,5 %	1,14	91,9	302	67	364
MoTeC M4	15:1	25,0 %	1,14	92,1	302	72	364
MoTeC M4	15:1	14,0 %	1,14	92,2	300	79	365

## ANEXO C

### LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS

Abaixo é apresentada a lista de materiais usados neste trabalho, durante a montagem do motor, calibração da UCE, aquisição das curvas do motor e revisões do motor multicomcombustível.

- 1- 1200 litros de gasolina C
- 2- 2000 litros de álcool etílico hidratado
- 3- 1000 m<sup>3</sup> de GMV (gás metano veicular)
- 4- 40 litros de óleo SELENIA 14W40
- 5- 4 eletroinjetores para GMV, marca KEIHIN, modelo 67R-010092, tipo 110R000020, classe 2, n° serial 0046339 a 0046342.
- 6- Amplificador externo de sinal de ignição.
- 7- Barômetro de mercúrio, marca HOFFMANN – Faixa de medição: - 760 mmHg a 760 mmHg – Resolução: 2 mmHg.
- 8- Bomba de sucção marca UTUSTOOL modelo HANDPUMP OT 0936, Ø38 x 500 mm
- 9- Célula de carga para medição do consumo de combustível.
- 10- Chicote de interligação entre os sensores e atuadores com a central eletrônica, adaptado a partir de um chicote DELPHI.
- 11- Cola para vedação do cárter da marca LOCTITE modelo ULTRABLACK.
- 12- Computador laptop marca COMPAC, modelo LTE 5300, série 2880F, alimentação 13,5 VDC – 1,8 A, com sistema operacional Windows 95;

- 13- Computador PC sem marca com processador PENTIUM III, marca INTEL SN: 010461465, com sistema operacional Windows 98.
- 14- Dinamômetro hidráulico marca SCHENK, modelo D210-E, rotação máxima: 10000 rpm, Potência máxima: 210 kW e Torque máximo: 600 N.m.
- 15- Filtro de gás para GMV, marca MTM-BRC, modelo FJ1 CLASSE 2, número de série 67R-010189.
- 16- Fonte de alimentação especial, modelo 1218M, n° série 7E93VIORA, lote 03249901, entrada 127/220 VAC, 60 Hz, saída 13,5 VDC – 1,8 A.
- 17- Fonte de tensão com tensão controlada para alimentação da UCE, marca SME INSTRUMENTS, 30A/50V.
- 18- Jogo de pistões para taxa de compressão de 12,5:1 marca MAHLE com casquilhos de biela, pinos e bielas.
- 19- Jogo de pistões para taxa de compressão de 15:1 marca MAHLE com casquilhos de biela, pinos e bielas.
- 20- Medidor de rotação – tacômetro, modelo MDD TCC11 A80 001717.
- 21- Medidor de vazão de gás rotativo, marca INSTROMET B.V., tipo IRM-3-G16-40-ANSI 125/150, n° série 20400258, ano de fabricação 2004, faixa de medição 0,6 a 25 m<sup>3</sup>/h, pressão máxima 1700 kPa.
- 22- Motor FIAT FIRE FLEX 1.3 8V
- 23- Multímetro digital, marca POLIMED, modelo PM2010, com medição de temperatura.
- 24- Osciloscópio marca FLUKE, modelo 99B SCOPEMETER SERIES II 100MHz
- 25- Placa de aquisição de dados de 12 bits com 16 canais AD para computador, marca LINX modelo CAD 16/32.
- 26- Placa de som convencional de 16 bits.

- 27- Redutor de pressão para GMV marca GENIUS-M TUV SAARLAND, modelo DGM 56602 GM NS8448.
- 28- Sensor de corrente tipo HALL
- 29- Sensor de detonação piezelétrico marca BOSCH
- 30- Sensor de pressão GMV, modelo MSP300-100P-2N
- 31- Sensor de pressão MAP e P1, marca BRC, modelo 678-010036, classe 2, faixa de medição de 2,5 a 4 bar (250 a 400 kPa)
- 32- Sensor de pressão marca BOSCH, modelo 0281 002510, n° de série: 01-07-19-3A
- 33- Sensor de pressão marca BOSCH, modelo 0281 002510, n° de série: 01-08-31-1A
- 34- Sensor de sincronismo tipo indutivo.
- 35- Sensor de temperatura da água do motor do TERMOPAR TIPO K
- 36- Sensor de temperatura do ar no coletor, BOSCH, modelo 0261 230 030, n° de série 99-07-13-2A.
- 37- Sensor de temperatura do ar PT 100
- 38- Sensor de temperatura do GMV PT 100
- 39- Sensor de temperatura do óleo PT 100
- 40- Sensor de temperatura EGT TERMOPAR TIPO K
- 41- Sistema de injeção de GMV multiponto seqüencial marca BRC
- 42- Software de aquisição de dados MULTIFUEL.
- 43- Software livre de análise FFT em tempo real SPECTROGRAM
- 44- Sonda Lambda linear, marca ETAS, modelo LA2, n° de série:1452 Y261 A24 362, com sonda lambda marca ROBERT BOSCH, modelo LSM11, alimentação 12 VDC

- 45- Sonda lambda tipo “broad band”, marca BOSCH.
- 46- Termo-barohigrômetro para medições de condições ambientais, com sensores de temperatura, pressão e umidade relativa do ar, modelos LM35, MPX5100A e HHH3605, respectivamente.
- 47- Termo-higrômetro digital, marca POLIMED, modelo PM 500
- 48- Unidade de comando do dinamômetro PID.
- 49- Unidade de controle eletrônico IAW.4AF.FF
- 50- Unidade de controle eletrônico MoTeC, modelo M4
- 51- Veículo tipo carretinha para transporte e armazenamento de gás com 6 cilindros, placa HBM 7620, capacidade 132 m<sup>3</sup>.



## ANEXO D

### INCERTEZAS ASSOCIADAS MÁXIMAS DOS RESULTADOS

A tabela D.1 mostra as incertezas associadas máximas para cada variável obtida nesse trabalho. Essas incertezas associadas foram calculadas através das equações 1.30 e 1.31 apresentadas nas seções 1.2.5.2 e 1.2.5.3, respectivamente.

Tabela D.1: Incertezas associadas máximas

<b>Incerteza das medições</b>	
Rotação	$\pm 30$ rpm
Torque	$\pm 0,9$ N.m
Torque Corrigido	$\pm 0,9$ N.m
Potência	$\pm 1,0$ kW
Potência Corrigida	$\pm 1,0$ kW
Consumo (combustível líquido)	$\pm 0,5$ kg/h
Consumo (GMV)	$\pm 0,3$ kg/h
Consumo específico (combustível líquido)	$\pm 16$ g/kWh
Consumo específico (GMV)	$\pm 14$ g/kWh
Lambda	$\pm 0.025$
Eficiência Volumétrica (GMV)	$\pm 4,5$ %
Pressão atmosférica	$\pm 2,5$ kPa
Temperatura da água do motor	$\pm 2$ K
Temperatura do óleo do motor	$\pm 2$ K
Temperatura do ar	$\pm 1,5$ K
Umidade relativa do ar	$\pm 2$ %
Pressão do GMV	$\pm 2,8$ kPa
Temperatura do GMV	$\pm 2,3$ K
Fator de correção	$\pm 0,00025$

Excluído: ¶