

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**RONALDO LOURENÇO FERREIRA**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADULTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NA  
DEGRADAÇÃO DO LUBRIFICANTE E DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

**Ilha Solteira  
2017**

**RONALDO LOURENÇO FERREIRA**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADULTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NA  
DEGRADAÇÃO DO LUBRIFICANTE E DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia -  
UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de  
Conhecimento: Mecânica dos Sólidos.

**Prof. Dr. APARECIDO CARLOS GONÇALVES**  
Orientador

**Ilha Solteira**  
**2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- F383a      Ferreira, Ronaldo Lourenço.  
Análise da influência da adulteração de combustível na degradação do lubrificante e do motor de combustão interna / Ronaldo Lourenço Ferreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
102 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Mecânica dos Sólidos, 2017
- Orientador: Aparecido Carlos Gonçalves  
Inclui bibliografia
1. Gasolina adulterada. 2. Espectrômetro de raios X. 3. Pqa. 4. Espectro de infravermelho. 5. Viscosidade.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADULTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEL  
NA DEGRADAÇÃO DO LUBRIFICANTE E DO MOTOR DE  
COMBUSTÃO INTERNA**

**AUTOR: RONALDO LOURENÇO FERREIRA**

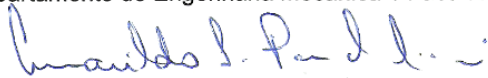
**ORIENTADOR: APARECIDO CARLOS GONCALVES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA  
MECÂNICA, área: MECANICA DOS SÓLIDOS pela Comissão Examinadora:



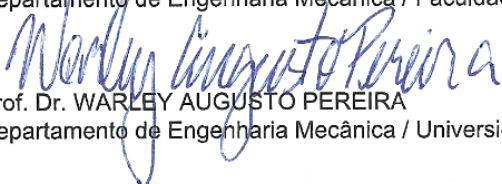
Prof. Dr. APARECIDO CARLOS GONCALVES

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. AMARILDO TABONE PASCHOALINI

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade de Rio Verde

Ilha Solteira, 17 de fevereiro de 2017

Dedico este trabalho a minha querida esposa Janice Liamar Roveda pelo apoio, paciência e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

A meu orientador e amigo professor Dr. Aparecido Carlos Gonçalves, que acreditou que eu era capaz de realizar este trabalho e muito me auxiliou para torna-lo realidade. Agradeço ainda por todas sugestões, críticas e opiniões que muito contribuiu para meu aprendizado.

A UniRV – Universidade de Rio Verde – GO, pelo apoio e compressão em me liberar um ou dois dias da semana para viajar e cursar as disciplinas.

Aos professores da UniRV – Faculdade de Engenharia Mecânica, Giancarlo Ribeiro Vasconcelos, Warley Augusto Pereira e João Pires de Moraes, pelo apoio e incentivo dado durante o curso e ajuda na organização de meus horários de trabalho para que eu pudesse viajar para cursar as disciplinas em Ilha Solteira-SP.

A todos que direta ou indiretamente ajudaram na conclusão deste trabalho, meus alunos de graduação e em especial ao amigo Julio Cesar dos Santos que muito me ajudou.

Em especial, gostaria de agradecer a Deus por me conceder saúde física e mental para realizar este trabalho e a minha amada esposa Janice Liamar Roveda, que tanto me ajudou dando força e incentivo. Tenho certeza que sem ela não teria conseguido chegar ao fim desta etapa de minha vida.

## RESUMO

Em motores de combustão interna, os estudos dos efeitos da adulteração do combustível se concentram nos problemas que ocorrem no sistema de alimentação, porém pouca atenção é dada ao lubrificante. Esta análise avalia esta degradação precoce do lubrificante a partir das alterações físicas e químicas sofridas por este ao utilizar gasolina adulterada em um motor de combustão interna. Neste trabalho foi utilizado um motor estacionário Honda de 160cc montado em uma bancada e ligado a um alternador por meio de correia de transmissão. Foram utilizados combustíveis adulterados com etanol, querosene e thinner nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%, além de um teste com gasolina adulterada com querosene na razão de 1% até 8%. Os ciclos foram de 40 horas cada, o que equivale a aproximadamente 2.000 km rodados. Para se medir o tempo e rotação do motor foi utilizado um tacômetro/horímetro, onde se registou o tempo de cada ciclo. Foram feitos testes de PQA, espectrômetro de raios X, espectrômetro de infravermelho, viscosidade, sulfatação, nitretação, oxidação, entre outros, além das alterações de comportamento do motor em relação a rotação. Os resultados mostraram as alterações de rotação conforme o esperado, quanto aos outros testes, foi mostrado que o lubrificante também sofreu alterações. Alguns elementos aditivos foram consumidos com a adulteração. O desgaste de máquina foi pequeno, porém os níveis de sulfatação, nitretação e oxidação foram alterados indicando a degradação do óleo lubrificante.

**PALAVRAS-CHAVE:** PQA. Espectrômetro de Raios X. Espectro de infravermelho. Viscosidade. Gasolina adulterada.

## **ABSTRACT**

In internal combustion engines, the studies in fuel modification aim problems occurring in the feeding system, however there is a little focus on how it affects the engine lubricant. This analysis evaluates the early degradation of the lubricant from its physical and chemical changes when the engine is running on adulterated gasoline. In this work, a Honda 160 cc stationery engine was attached to a workbench and connected to an alternator using a drive belt. It uses fuel contaminated with ethanol, kerosene and thinner in concentrations of 5, 10, 15 and 20% in volume, besides gasoline with kerosene from 1 to 8% in 40-hour operating cycles, equivalent to 2000 km used. It uses an hour meter associated to a tachometer to measure the time and the engine rotation, measuring the cycle time. The performed tests include particle quantification, X-ray spectrometer, IV spectrometer, viscosity, sulfatation, nitritation, oxidation and others, besides the changes in engine behavior. The results indicated rotation variation as expected and lubrication changes. Some oil additives were consumed due to the fuel adulteration. There was little engine wear, however the , sulfatation, nitritation and oxidation levels changed indicating lubricant degradation.

**KEY WORDS:** PQA, X-ray Spectrometer, Infrared spectrum, viscosity, adulterated gasoline.



## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da viscosidade dinâmica	30
Figura 2 – Viscosímetro Saybolt	38
Figura 3 – Espectrômetro de Raios X	40
Figura 4 – Monitor de partículas ferrosas	41
Figura 5 – Fluid Scan Q1000	43
Figura 6 – Motor Honda GX 160 em corte	46
Figura 7 – Motor montado na bancada	47
Figura 8 – Bancada do motor	48
Figura 9 – Horímetro	49
Figura 10 – Montagem do fio do horímetro no cabo de vela	50
Figura 11 – Equipamentos utilizados para manipular o combustível	53
Figura 12 – Retirada da amostra	55
Figura 13 – Seringa, mangueira e frasco.	55
Figura 14 – Amostras para análise	56
Figura 15 – Etiqueta de identificação de amostras	56
Figura 16 – Desmontagem do motor	57
Figura 17 – Motor aberto – (a) motor aberto; (b) tampa do cárter	58
Figura 18 – Amostras preparadas para análise de PQA	61
Figura 19 – PQA – Vista frontal e superior	62
Figura 20 – Sensor do monitor de partículas	63
Figura 21 – Marcador de temperatura do Viscosímetro	63
Figura 22 – Frasco volumétrico para Viscosímetro Saybolt	64
Figura 23 – Preparação das amostras – Espectrômetro de raios X	65
Figura 24 – Introdução das amostras no Espectrômetro de Raios X	65
Figura 25 – Detalhes do Fluid Scan Q1000	66
Figura 26 – Fluid Scan Q1000 – Passo 1	67
Figura 27 – Fluid Scan Q1000 – Passo 2	67
Figura 28 – Limpeza do equipamento – Passo 3.	68
Figura 29 – Configurando o equipamento Fluid Scan	69
Figura 30 – Seleção dos Espectros	69

Figura 31 – Fluid Scan Q1000 – Passo 4	70
Figura 32 – Seleção de categoria e tipo de lubrificante	70
Figura 33 – Carregamento do óleo no Fluid Scan Q1000	71
Figura 34 – Resultado da análise	71
Figura 35 – Teste de Proveta	73
Figura 36 – Vela de ignição do motor	74
Figura 38 – Rotação do motor com e sem ligar ao alternador	75
Figura 39 – Detergente e dispersante – Magnésio	76
Figura 40 – PQA – Gasolina com Querosene ( 1% a 8%)	77
Figura 41 – Rotação com contaminação por etanol	79
Figura 42 – Rotação com contaminação por querosene	80
Figura 43 – Rotação com contaminação por thinner	81
Figura 44 – Contagem de partículas	82
Figura 45 – Viscosidade	83
Figura 46 – Detergente e dispersante – Magnésio	84
Figura 47 – Extrema pressão (EP) – Cloro	85
Figura 48 – Extrema pressão (EP) – Enxofre	86
Figura 49 – Oxidação	87
Figura 50 – Quantidade de Água	88
Figura 51 – TBN	89
Figura 52 – Sulfatação	90
Figura 53 – Antidesgaste	91
Figura 54 – Nitretação	92

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACEA	<i>Association of European Automobile Constructors</i>
A/F	Ar/combustível
ANFAVEA	Agência Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
B100	Biodiesel com 100 por cento de óleo de fontes renováveis
B7	Biodiesel com sete por cento de óleo de fontes renováveis
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e Alcool
cSt	centistoke
CV	Cavalo vapor
EP	Extrema pressão
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IAD	Índice antidetonante
I <sub>v</sub>	Índice de viscosidade
JASO	<i>Japanese Automobile Standards Organization</i>
JP5	Querosene de aviação de uso restrito a Marinha do Brasil
Kgf.m	Quilograma força vezes metro
KOH	Hidróxido de potássio
KOH/g	Hidróxido de potássio por grama
LIF	Limite inferior de flamabilidade
LSF	Limite superior de flamabilidade
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCI	Motores de Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia
MON	<i>Motor Octane Number</i> – Método Motor
OHV	<i>Overhead valve</i> (válvulas no cabeçote e comando por varetas)
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior

PPM	Partes por milhão
PQA	<i>Particle Quantifier Analysis</i>
QAV-1	Querosene de aviação de uso geral
RON	<i>Research Octane Number</i> – Método de Pesquisa
RPM	Rotações por minuto
S	<i>Stoke</i>
S-10	Diesel com 10 ppm de enxofre
S-500	Diesel com 500 ppm de enxofre
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
TAN / TBN	Número de Acidez Total / Número de Basicidade Total

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVO	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	COMBUSTÍVEIS	16
<b>2.1.1</b>	<b>Propriedades dos combustíveis</b>	<b>17</b>
<i>2.1.1.1</i>	<i>Estequiometria da combustão</i>	<i>17</i>
<i>2.1.1.2</i>	<i>Calor latente de vaporização</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.3</i>	<i>“Flash point” ou ponto de fulgor</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.4</i>	<i>Limites de inflamabilidade</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.5</i>	<i>Temperatura de autoignição</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.6</i>	<i>Poder calorífico</i>	<i>19</i>
<b>2.1.2</b>	<b>Óleo Diesel</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Etanol</b>	<b>20</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Gasolina</b>	<b>21</b>
<i>2.1.4.1</i>	<i>Octanagem</i>	<i>23</i>
<i>2.1.4.2</i>	<i>Volatilidade</i>	<i>23</i>
<b>2.1.5</b>	<b>Querosene iluminante</b>	<b>24</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Querosene de Aviação</b>	<b>24</b>
2.2	ADULTERAÇÃO	25
<b>2.2.1</b>	<b>Solventes e diluentes</b>	<b>27</b>
<i>2.2.1.1</i>	<i>Thinner</i>	<i>27</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>Aguarrás</i>	<i>27</i>
2.3	LUBRIFICANTES	28
<b>2.3.1</b>	<b>Propriedades dos Óleos Lubrificantes</b>	<b>29</b>
<i>2.3.1.1</i>	<i>Viscosidade</i>	<i>30</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Índice de viscosidade (<math>I_v</math>)</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Ponto de fulgor</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.4</i>	<i>Ponto de fluidez</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.5</i>	<i>Total Acid Number / Total Base Number (TAN/TBN)</i>	<i>32</i>
<b>2.3.2</b>	<b>Classificação</b>	<b>33</b>

2.3.2.1	<i>Classificação API</i>	33
2.3.2.2	<i>Classificação SAE</i>	34
2.3.3	<b>Aditivos</b>	35
2.4	ANÁLISE DO LUBRIFICANTE UTILIZADO	37
2.4.1	<b>Tipos de análises</b>	37
2.4.1.1	<i>Viscosidade</i>	38
2.4.1.2	<i>Espectrometria de Raio X</i>	39
2.4.1.3	<i>Monitor de partículas ferrosas – PQA</i>	41
2.4.1.4	<i>Espectrômetro de infravermelho</i>	42
3	<b>MATERIAL E MÉTODO</b>	45
3.1	MOTOR	45
3.2	INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA	49
3.3	ETAPAS DOS TESTES – CICLOS	50
3.3.1	<b>Tempo gasto em cada ciclo</b>	50
3.3.2	<b>Quantidade de ciclos</b>	51
3.4	CONTAMINAÇÃO DO COMBUSTÍVEL	51
3.5	TESTES	53
3.5.1	<b>Teste inicial do motor – Contaminante querosene</b>	53
3.5.2	<b>Testes com querosene, etanol e thinner</b>	54
3.6	AMOSTRAS	54
3.6.1	<b>Procedimento para retirada das amostras e limpeza</b>	54
3.6.2	<b>Limpeza</b>	57
3.7	ANÁLISES	58
3.7.1	<b>Consumo</b>	59
3.7.2	<b>Funcionamento do motor - Rotação</b>	60
3.7.3	<b>Percentual de etanol</b>	60
3.7.4	<b>PQA</b>	61
3.7.5	<b>Viscosidade</b>	63
3.7.6	<b>Espectrômetro de raios X</b>	64
3.7.7	<b>Espectrômetro de infravermelho</b>	66
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	72
4.1	PERCENTUAL DE ETANOL	72
4.2	VELA DE IGNIÇÃO	73
4.3	ROTAÇÃO COM E SEM O ALTERNADOR	74

4.4	GASOLINA COM QUEROSENE – 1% A 8%	75
4.4.1	<b>Espectrômetro de raios X</b>	<b>76</b>
4.4.2	<b>Contagem de partículas – PQA</b>	<b>77</b>
4.5	CONTAMINAÇÃO COM 5%, 10%, 15% E 20%	77
4.5.1	<b> rotações do motor</b>	<b>78</b>
4.5.2	<b>Contagem de partículas – PQA</b>	<b>82</b>
4.5.3	<b>Viscosidade</b>	<b>82</b>
4.5.4	<b>Espectrômetro de Raios X</b>	<b>83</b>
4.5.5	<b>Infravermelho</b>	<b>86</b>
4.5.5.1	<i>Oxidação</i>	86
4.5.5.2	<i>Água</i>	87
4.5.5.3	<i>TBN</i>	88
4.5.5.4	<i>Sulfatação</i>	89
4.5.5.5	<i>Antidesgaste</i>	90
4.5.5.6	<i>Nitretação</i>	91
5	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>93</b>
6	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>100</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente é muito comum deparar com motociclistas, motoristas de carros, caminhões, etc., que têm uma história de problemas com combustível de qualidade duvidosa. Muitas vezes estas histórias não têm um final feliz, gerando muitos prejuízos aos proprietários destes veículos. Também nos telejornais são apresentadas reportagens de fiscalizações que interditam postos que estão comercializando um combustível de qualidade inferior à prevista nos padrões da ANP.

As estratégias utilizadas para contaminar a gasolina são várias, utilizam querosene, óleo diesel que se dissolvem com facilidade nela, tornando a sua identificação um pouco mais difícil.

De acordo com a ANP, outra estratégia é adicionar etanol na gasolina, fazendo com isto a alteração deste percentual, que é de 27%, podendo chegar a até 65% de etanol, como ocorreu em postos da região Norte. Esta alteração não terá um impacto significativo no lubrificante, uma vez que são desenvolvidos para serem utilizados em carros flex, que utilizam gasolina, etanol ou a mistura dos dois. Qualquer substância acrescentada à gasolina, que altere sua composição padrão, é considerada uma substância adulteradora. Outras formas de adulteração são adicionando, parafina, benzina, thinner, aguarrás, benzeno, etc.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar os danos que o uso da gasolina adulterada pode causar para o lubrificante, que é o responsável por reduzir o atrito das peças metálicas do motor e auxiliar a troca de calor.

Os sintomas de alteração do funcionamento do motor são bastante discutidos e divulgados pelos meios de comunicação, mas os danos ao lubrificante não são divulgados por ninguém. Muitas vezes o proprietário, apenas retira o combustível adulterado e coloca um de qualidade melhor, mas a pergunta é: O lubrificante que ficou no motor, tem suas propriedades preservadas? Este lubrificante ainda atende ao seu propósito? Para responder a estas perguntas foram feitos testes de contagem de partículas (PQA), espectrometria de raio X e viscosidade e espectrometria de infravermelho para verificar o estado do lubrificante.

O teste de PQA dá uma ideia se houver um desgaste anormal ao utilizar cada mistura de combustível.



O teste de viscosidade mede a viscosidade do lubrificante, e com base no lubrificante utilizado com a gasolina, que no caso está dentro do padrão de deterioração aceitável, se atendem ou não, ou seja, se os produtos adulterantes influenciaram na viscosidade do lubrificante.

Os testes de espectrometria de raios X, medem o quanto os aditivos foram consumidos, podendo assim identificar qual a proteção o motor irá perder mais rápido com o uso da adulteração.

O teste de espectrometria de infravermelho, mede a quantidade de água, sulfatação, oxidação, antidesgaste, TBN e nitretação, sendo estas propriedades diretamente relacionadas com a corrosão do motor.

Foram analisadas também as alterações no funcionamento do motor, quanto a seu consumo e alterações de rotação.

O motor é originalmente a gasolina e foi alimentado com gasolina e depois com gasolina adulterada com vários percentuais de etanol, querosene e thinner. Estas substâncias são bem mais baratas que a gasolina e sofrem menos tributação, dando um retorno financeiro maior para os donos de postos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 COMBUSTÍVEIS

O desenvolvimento da indústria do petróleo se deu em meados do século XIX, com a necessidade de combustível para iluminação. No fim deste século, a demanda de gasolina aumentou muito rapidamente devido ao crescimento do transporte (BRUNETTI, 2015a).

Destilados leves de petróleo, com baixa resistência à detonação formavam a composição da gasolina e a adição de álcoois etílico e metílico inibiram esta característica de detonação. Mas em 1921, Midgley e Brown constataram que o chumbo-tetra-etila era mais eficaz na inibição da detonação, passando a ser, a partir deste momento, o principal aditivo da gasolina (BRUNETTI, 2015a).

No Brasil a adição de chumbo à gasolina foi proibida em 1989, sendo o primeiro país a proibir seu uso. Esta proibição veio com a crescente preocupação com o meio ambiente e os danos provocados pelo chumbo ao ser humano, por ser tóxico e danos aos catalizadores dos veículos. Hoje só é utilizado o chumbo na gasolina de aviação (PETROBRÁS, 2014).

O combustível é o produto utilizado para produzir energia, a partir de sua queima ou pela transformação em outros combustíveis. Como exemplos de combustíveis têm: óleo diesel, óleo combustível, gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, etanol, querosene de aviação, biodiesel e suas misturas com o óleo diesel (ANP, 2014).

Os combustíveis usados hoje, na maioria dos casos, são de origem do petróleo bruto e são produzidos por refinação, aquecendo a temperaturas acima de 370 °C. A quantidade de reservas de petróleo bruto pode ser apenas estimada e atualmente se prevê reservas na ordem de um bilhão de barris (MARTINS, 2015).

A tecnologia atual de extração de petróleo não permite extrair todo o petróleo de uma reserva até esgotá-la por completo, consegue-se uma extração de até 70% e em alguns casos não passa de 50%. O restante que permanece na reserva é de difícil extração e com custo elevado, o que inviabiliza sua extração. No futuro quando não tiver mais reservas a 100% para extração, retornarão a estas com 30% ou até 50% para aí sim esgotá-la. Quando isto ocorrer, devido à tecnologia necessária o custo deste petróleo será muito mais alto que o atual (MARTINS, 2015).

## 2.1.1 Propriedades dos combustíveis

Os combustíveis são definidos por propriedades que mostram como eles reagem. As mais importantes são mostradas a seguir.

### 2.1.1.1 Estequiometria da combustão

A constituição básica dos combustíveis é por carbono e hidrogênio, sendo estes os elementos que reagem com o oxigênio do ar. A mistura ar e combustível é primordial para combustão nos motores (MARTINS, 2015). O ar possui diversos componentes, mas os mais comuns são mostrados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Componentes do Ar

Gás	% Volume	Massa molar	% (molar)
O <sub>2</sub>	20,95	31,998	20,95
N <sub>2</sub>	78,09	28,012	79,05
Ar	0,93	38,948	
CO <sub>2</sub>	0,03	40,009	
Total	100	28,962	

Fonte: (MARTINS, 2015)

Os combustíveis têm em sua composição, basicamente carbono e hidrogênio, sendo estes elementos os que reagem com o oxigênio do ar. Logo temos a equação 1:



É possível notar que 14 gramas de carbono reagem com a mesma quantidade de oxigênio (32 gramas) que 4 gramas de hidrogênio. Logo a quantidade de átomos de carbono e de hidrogênio em sua composição definem a quantidade de oxigênio, no caso presente no ar, para poderem reagir. Compostos que possuem oxigênio em sua molécula, darão origem a uma relação ar/combustível (A/F), mais baixos (MARTINS, 2015).

### ***2.1.1.2 Calor latente de vaporização***

Esta propriedade é de suma importância para que o combustível consiga se misturar com o ar de forma eficiente, e neste processo há uma retirada de calor da mistura ar combustível, fazendo com que se arrefeça, beneficiando o motor que é arrefecido pela mistura (MARTINS, 2015).

### ***2.1.1.3 “Flash point” ou ponto de fulgor***

Um combustível tem seu “flash point” quando sua temperatura atinge valores que provocam a liberação de gases que naturalmente formam uma mistura estequiométrica com o ar e essa mistura facilmente entra em ignição quando uma fonte de calor externa, por exemplo uma faísca, entra em contato com ela. Quando a temperatura ambiente se aproxima do “flash point” do combustível, a facilidade de ignição e de propagação da chama será aumentada drasticamente (MARTINS, 2015). Este efeito só dura enquanto tiver a fonte de calor, ao retirá-la a chama não irá se manter, devido ao fato dos gases não serem suficientes para manter a chama.

### ***2.1.1.4 Limites de inflamabilidade***

Os limites de inflamabilidade são classificados como inferior (LII) e superior (LIS) que significam respectivamente os percentuais em volume mínimos e máximos de combustível que quando for submetido a uma fonte de ignição provoque uma combustão auto-sustentada. De uma forma mais clara e simples, significa dizer que a mistura ar-combustível só será inflamável quando a quantidade de combustível estiver dentro do intervalo formado entre o LII e o LIS (VIVAS, 2010).

### ***2.1.1.5 Temperatura de autoignição***

Esta temperatura é aquela que quando atingida pelo combustível, este inicia uma combustão espontaneamente, sem a necessidade de uma fonte de calor externa (MARTINS, 2015).

### **2.1.1.6 Poder calorífico**

Pode-se definir como poder calorífico, a quantidade de energia química existente em um combustível, que é referido por massa de combustível ou por massa de ar-combustível obedecendo os percentuais estequiométricos para a mistura. Este dado, poder calorífico, não pode ser analisado isoladamente somente do combustível, porque para se obter a chama é preciso do ar e, nesse momento, pode-se enganar com os resultados. O hidrogênio por exemplo, possui um poder calorífico muito maior que os demais, no entanto, ao unir-se com o ar para se obter a chama, seu poder calorífico cai drasticamente (MARTINS, 2015).

O poder calorífico é numericamente igual à entalpia de reação, só que com o sinal trocado. O poder calorífico superior (PCS) é o calor calculado da combustão quando toda a água dos produtos já está condensada para o líquido. Nessa situação a reação libera o máximo de energia, por isso é superior. Já o poder calorífico inferior (PCI) se dá quando toda a água está no estado de vapor (TURNS, 2013).

### **2.1.2 Óleo Diesel**

Existem diversas denominações para o óleo diesel, como diesel S-10, diesel S-500, biodiesel, além das denominações dadas pelas distribuidoras como o diesel Grid e o diesel Podium da Petrobrás. É o combustível mais importante no mercado brasileiro, responsável pelo transporte de pessoas, cargas, pela produção agrícola com as máquinas agrícolas, também barcos, geradores de energia, construção civil, etc. (PETROBRÁS, 2013a).

De acordo com a PETROBRÁS (2013a) segue a explicação do nome de cada diesel e porque deste nome:

- Diesel S-10: é um diesel que contém o teor máximo de 10 miligramas de enxofre para cada 1.000.000 miligramas do produto, ou seja, 10 partes por milhão (ppm), que para veículos com as novas tecnologias de controle de emissão de partículas é o mais indicado. Este diesel reduz a emissão de material particulado em até 80% e óxidos de nitrogênio em até 98%.
- Diesel S-500: é o chamado diesel comum muito utilizado em veículos com fabricação anterior a 2012. Este diesel possui em sua composição um teor de 500 ppm de enxofre.

- Biodiesel: é um combustível biodegradável, obtido por diversos processos e derivado de fontes renováveis. São vários os produtos utilizados na sua fabricação, como exemplo: gorduras animais, óleos vegetais tais como, mamona, palma do dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso, soja, entre outros. Sua utilização substitui o óleo diesel total ou parcialmente em diversos motores alimentados com diesel, como geradores, caminhões, etc. Pode ser utilizado puro ou misturado. O misturado tem o percentual de 7% acrescentado ao diesel comum e recebe a denominação de B7, já o puro recebe a denominação de B100.

### 2.1.3 Etanol

Combustível obtido a partir da cana-de-açúcar é conhecido como um combustível ecologicamente correto, pois contribui para redução do gás carbônico na atmosfera através da fotossíntese nos canaviais. Pode ser adicionado à gasolina e ao diesel, desde que respeitando recomendações específicas (PETROBRÁS, 2011).

Têm-se dois tipos de álcool combustível, o usado nos motores flex, que é o álcool etílico hidratado, que tem a característica de ser límpido e incolor. Já o álcool adicionado à gasolina, é o álcool etílico anidro, que recebe adição de corante laranja (PETROBRÁS, 2011).

Veículos movidos exclusivamente a etanol representam uma redução de 60% na produção de monóxido de carbono, 25 % na produção de hidrocarbonetos e 11% de oxido de nitrogênio comparando com os veículos que utilizam apenas gasolina como combustível (LEÃO, 2002).

O etanol tem outra vantagem, seu calor de vaporização é mais alto que da gasolina, ou seja, enquanto a gasolina necessita de 390 kJ/kg para se vaporizar, o etanol necessita de 910kJ/kg. Isso significa que quando o combustível é injetado no coletor de admissão, a mistura de combustível resfria o ar, tornando a mistura mais fria e quanto mais fria for a mistura, maior será a densidade do vapor que representa maior potência no motor (PASSOS, 2015).

A octanagem do etanol é 110 octanas, bem mais alta que a da gasolina, motivo pelo qual é usada para aumentar a octanagem da gasolina “C” (PASSOS, 2015).

### 2.1.4 Gasolina

No processamento do petróleo, para se obter a gasolina, são misturadas diversas naftas e suas propriedades são balanceadas para proporcionar um melhor desempenho a várias condições de operações dos motores. Sua estrutura é formada por hidrocarbonetos de 4 a 12 carbonos, mas a maioria está entre 5 e 9 carbonos. A nafta é uma das frações obtidas na destilação atmosférica do petróleo, que compreende a temperatura entre 30 °C e 250 °C, englobando hidrocarbonetos de 4 a 12 carbonos e pode ser leve ou pesada. Da nafta leve se origina a gasolina e da pesada o diesel (BRUNETTI, 2015a).

Existem dois tipos de gasolinas comercializadas no Brasil, a Comum “C” e a Premium. A gasolina comum pode ser com ou sem aditivos, sendo que com aditivos são as aditivadas e sem aditivos a comum. Assim as distribuidoras ofertam gasolinas com nomes diferentes que atendem as especificações ou até superam os parâmetros da categoria que estão enquadradas (PETROBRÁS, 2015a).

A Petrobrás comercializa a gasolina comum “C”, a gasolina aditivada GRID e a Podium, que é a gasolina Premium (PETROBRÁS, 2015a).

A gasolina automotiva é um combustível bastante popular. De acordo com (PETROBRÁS, 2014), as gasolinas apresentam as seguintes características:

- Gasolina “C”: é uma gasolina que possui até 50 ppm de enxofre em sua composição e possui octanagem mínima de 87 unidades. Esta gasolina tem a adição de etanol na proporção de 27% ± 1%.
- Gasolina Aditivada: possui coloração diferente da gasolina comum, no caso da aditivada da Petrobrás, ela é esverdeada e possui a mesma octanagem da gasolina “C”. Em sua composição possui aditivos redutores de atrito, detergentes e dispersantes que auxiliam na conservação do motor e melhor desempenho e eficiência. Também tem a adição de etanol na proporção de 27% ± 1%.
- Gasolina Premium: possui uma octanagem mínima de 91 unidades, que é maior que a da gasolina comum e da comum aditivada. Seu teor de enxofre é de 50 ppm. Esta gasolina é indicada para veículos importados e veículos de alta performance. Esta gasolina possui a adição de etanol na proporção de 25% ± 1%. A gasolina da Petrobrás na categoria Premium é a Podium, que possui uma octanagem mínima de 95 unidades e o teor de enxofre de até 30 ppm. A gasolina Podium Petrobrás é a

gasolina de maior octanagem do planeta, maior que a das gasolinas super premium europeias.

No Brasil se utiliza álcool etílico misturado à gasolina desde 1935, na época em escala de 5%, somente em 1980 este percentual subiu para 20% a 22% (BRUNETTI, 2015a), chegando em 2015 a 27%.

O anexo 1 mostra como foi esta evolução do percentual de etanol adicionado à gasolina ao longo dos anos.

A quantidade de etanol que é adicionado na gasolina é regulamentada por lei pelo Conselho Interministerial do Açúcar e Álcool (CIMA), através da resolução nº 01/2015 e pela portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) nº 75. Desde 16 de março de 2015, o percentual de etanol na gasolina tipo “C” é de  $27\% \pm 1\%$  e na gasolina tipo Premium é de  $25\% \pm 1\%$  (PETROBRÁS, 2015b).

Este aumento do percentual de etanol misturado à gasolina ocorreu após testes feitos pelas entidades representantes dos fabricantes de carros, motos e autopeças a pedido do governo. Nestes testes foram avaliados os percentuais de 22%, 25%, 27,5% e 30%. Para verificar a viabilidade do aumento do percentual, o Ministério de Minas e Energia (MME) solicitou a Petrobrás que avaliasse em seus laboratórios os impactos deste aumento (PORTAL\_BRASIL, 2015).

Após os resultados dos testes e a decisão pelo aumento, a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) solicitou ao Governo Federal que para as gasolinas Premium (de alta octanagem) fosse mantido o percentual de  $25\% \pm 1\%$ , para atender aos veículos importados de alta performance, até que fossem finalizados todos os testes nestes veículos (PORTAL\_BRASIL, 2015).

A adição do etanol à gasolina cumpre as funções de elevar a octanagem da gasolina, reduzir a emissão de poluentes além de reforçar as alterações promovidas nas diretrizes das políticas energéticas brasileiras, seguindo assim a tendência mundial (PETROBRÁS, 2013b).

As propriedades das gasolinas estão ligadas diretamente aos teores de naftas usadas em sua fórmula, sendo que as que mais influenciam no desempenho do veículo são octanagem e volatilidade.



### **2.1.4.1 Octanagem**

A octanagem é a capacidade do combustível ao ser misturado com o ar, resistir a altas temperaturas na câmara de combustão sem sofrer detonação. Esta detonação também é conhecida como o efeito do motor bater pino, que o danifica. Assim, para uma maior resistência à detonação, maior deverá ser a octanagem. No Brasil, se expressa a octanagem em Índice Antidetonante – IAD. A gasolina comum “C” tem um IAD de 87 octanas e a gasolina Premium – Podium tem 95 octanas (PETROBRÁS, 2015a).

A detonação é a combustão espontânea do combustível, que é um fenômeno não desejado nos motores (BRUNETTI, 2015a).

Em 1920, um parâmetro importante e limitante no desenvolvimento dos motores de combustão interna (MCI) foi a detonação e surgiram várias tentativas de se medir a detonação. Em 1928 foi criado um grupo de trabalho para encontrar uma forma de caracterizar a resistência à detonação do combustível. Utilizando um motor experimental com variação na taxa de compressão (4 a 18:1), exclusivo para ensaios em combustíveis, foi padronizado o primeiro método de determinação do número de octano. Este método foi chamado de método de pesquisa ou RON (*Research Octane Number*) (BRUNETTI, 2015a).

Em 1932, foi criado novo teste, desta vez mais severo, simulando uma longa subida com um veículo com rotação maior e ponto de ignição variável. Este método foi chamado de método motor ou MON (*Motor Octane Number*) (BRUNETTI, 2015a).

### **2.1.4.2 Volatilidade**

Esta propriedade é muito importante, pois permite um manuseio seguro da gasolina e também influencia no desempenho do motor. Na gasolina, esta propriedade é representada por sua faixa de destilação e pressão de vapor. A vaporização deve ser adequada e deve ocorrer de acordo com as condições de operação do motor, desde o funcionamento inicial até o momento que é solicitado em plena carga (BRUNETTI, 2015a).

Esta propriedade mostra a tendência que a gasolina tem de passar para o estado gasoso e é controlada pelas especificações de destilação e pressão de vapor (SOUZA, 2004).

A pressão de vapor pode ser definida com relação à volatilidade, assim, quanto mais volátil for o líquido, maior será sua pressão de vapor. Em países de invernos rigorosos, costuma-se adicionar C4 à gasolina para facilitar a vaporização do combustível e assim conseguir funcionar o motor nas primeiras partidas a frio com menos dificuldade. Este procedimento é chamado de “butanizar” (BRUNETTI, 2015a).

### **2.1.5 Querosene iluminante**

É formada por mistura de hidrocarbonetos alifáticos, naftênicos e aromáticos. Possui um excelente poder de diluição e uma evaporação lenta, graças a uma curva de destilação ampla (PETROBRÁS, 2015d).

Predominam os compostos parafínicos, destilados na faixa de 150 °C a 300 °C e possuem uma cadeia de carbono de 9 a 17. No início da indústria do petróleo, a querosene era o derivado de maior importância, devido seu uso em lamparinas para iluminação. Hoje seu principal uso é na composição do diesel e, dependendo do petróleo, como combustível de aviação, querosene de aviação (BRUNETTI, 2015a).

Segundo a Petrobrás (2015 d), a querosene apresenta as seguintes características:

- Ponto de fulgor acima de 40 °C;
- Densidade relativa entre 0,760 e 0,822;
- Enxofre total máximo 0,30% de massa;
- Aspecto claro, límpido.

### **2.1.6 Querosene de Aviação**

Este tipo de combustível é produzido por fracionamento pela destilação à pressão atmosférica. Sua faixa de destilação é entre 150 °C e 300 °C o que a torna adequada para gerar energia por combustão e ser utilizada em motores turbinados a gás de aeronaves (PETROBRÁS, 2016).

O querosene de aviação deve permanecer homogêneo e líquido até a zona de combustão das aeronaves, seu poder calorífico deve ser o mais elevado possível, deve resistir física e

quimicamente às variações de temperatura e pressão e apresentar características de lubrificação boas (PETROBRÁS, 2016).

São produzidos dois tipos de querosene de aviação no Brasil, sendo a QAV-1 que é de uso geral e a JP5, que é um querosene especial usado pela Marinha do Brasil (PETROBRÁS, 2016).

A octanagem do querosene é bem baixa, ficando entre 15 e 25 octanas.

## 2.2 ADULTERAÇÃO

Toda e qualquer mudança na composição da gasolina por meio da adição de etanol em porcentagens diferentes da estabelecida pela ANP e de solventes diversos, como benzeno, thinner, aguarrás, querosene, diesel, etc., é o que se chama de adulteração da gasolina (TAKESHITA, 2006).

O ato de adulterar a gasolina, teve início quando se abriu o mercado ao setor de combustíveis, depois de longo período de monopólio e que teve seu agravamento com a redução do subsídio ao etanol hidratado e anidro além de no mesmo momento liberar a compra de solventes por meio de importação, o que tornava o custo bem inferior ao da gasolina. Esta abertura tinha como finalidade dar ao consumidor mais opções de escolha ao comprar combustíveis, dando com isso um incentivo a concorrência (TAKESHITA, 2006).

A adulteração dos combustíveis tem crescido bastante, apesar de ser uma atividade ilícita, e os principais motivadores desta prática são (TAKESHITA, 2006):

- Uma diferença considerável de preço entre a gasolina e os solventes;
- A facilidade de adquirir solventes no mercado, sem restrição de venda;
- A difícil detecção da adulteração por inspeções simples, uma vez que os solventes se diluem na gasolina;
- O alto valor de impostos cobrados sobre a gasolina, e impostos bem menores cobrados nos solventes, geram uma margem pequena de lucro.

O Quadro 1 mostra a comparação dos valores de gasolina e querosene, o que se percebe com facilidade que, além dos impostos, os valores por litro são bem diferentes, ou melhor, o querosene é bem mais barato.

Quadro 1 – Preços médios dos combustíveis a partir de 2013



## Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

### Coordenadoria de Defesa da Concorrência

#### PREÇOS MÉDIOS PONDERADOS SEMANAIS PRATICADOS PELOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE DERIVADOS DE PETRÓLEO

Produto	Período (A partir de 2013)		Região					Brasil
			Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	
Gasolina A (R\$/litro)	04/01/2016	10/01/2016	2,04944	1,98825	2,06074	2,01390	2,02449	2,01796
Gasolina A (R\$/litro)	11/01/2016	17/01/2016	2,04516	1,98822	2,06015	2,01312	2,02895	2,01893
Gasolina A (R\$/litro)	18/01/2016	24/01/2016	2,04724	1,97195	2,06022	2,01666	2,03052	2,01517
Gasolina A (R\$/litro)	25/01/2016	31/01/2016	2,04546	1,98820	2,05994	2,01435	2,02658	2,01820
QAV (R\$/litro)	04/01/2016	10/01/2016	1,41328	1,45297	***	1,51322	1,49380	1,47993
QAV (R\$/litro)	11/01/2016	17/01/2016	1,43001	1,44506	***	1,52983	1,51400	1,49688
QAV (R\$/litro)	18/01/2016	24/01/2016	1,42345	1,46741	***	1,55327	1,49293	1,49225
QAV (R\$/litro)	25/01/2016	31/01/2016	1,42209	1,40746	***	1,51871	1,46873	1,46233

QAV - Querosene de aviação

Fonte: (ANP, 2016)

A gasolina pode ser adulterada por muitos produtos, mas todos devem ser miscíveis nela e inflamáveis, para que não deixem resíduos de sua presença. A querosene é mais pesada que a gasolina e sua octanagem é mais baixa, gerando assim falhas na aceleração do motor (buracos), carbonização da câmara de combustão e detonação em baixas rotações (PETROBRÁS, [201-]b).

É comum encontrar gasolina adulterada com adição de querosene, etanol acima do percentual normalizado, diluentes (thinner, aguarrás), benzeno, etc.

Este acréscimo de produtos adulterantes da gasolina, seja pelo excesso do já existente ou por um outro que não está presente em sua fórmula, provoca alterações nas propriedades físico-químicas da gasolina (TAKESHITA, 2006).

Takeshita (2006), realizou um estudo da influência de solventes sobre os parâmetros físicos e químicos da gasolina, mas na época seu trabalho não contemplou nenhuma análise sobre alterações nos lubrificantes.

Pesquisa recente sobre qualidade dos combustíveis, divulgada em fevereiro de 2016 pela Agência Nacional do Petróleo – ANP mostra que os estados de Goiás e Tocantins, apresentaram os maiores índices de adulteração da gasolina, 5,2% e 3,5% respectivamente, quando comparados com os números nacionais, que está com média de 2,1%. Estes dados são do trimestre de dezembro/15 a fevereiro/16. A principal não conformidade está no teor de etanol, sendo 97,2% para o estado de Goiás e 85,7% para o estado de Tocantins com esta irregularidade, sendo a média do Brasil de 86,1% (ANP, 2016).

### **2.2.1 Solventes e diluentes**

É importante falar um pouco da diferença entre solvente e diluente. O primeiro geralmente é utilizado para limpeza e tem a função de decompor o material aplicado na superfície que é aplicado podendo comprometer sua qualidade. Já o diluente, tem a função de diluir um produto, deixando-o mais fluido e preservando suas propriedades (UFPR, 2013).

Como foi citado anteriormente, existem muitos produtos que podem ser utilizados como diluentes e/ou adulterantes da gasolina. É mostrado a seguir algumas características de alguns destes diluentes utilizados para adulterar a gasolina.

#### **2.2.1.1 Thinner**

É composto de mistura de hidrocarbonetos aromáticos, sendo ésteres, álcoois e cetonas e glicóis (Acetato de Butila (123 - 86 - 4), Álcool Etílico anidro (64 - 17 - 5), Butilglicol (111 - 76 - 2), Diacetona Álcool (123 - 42 - 2), N-butanol (71 - 36 - 3), Metanol (67 - 56 - 1), Augeo SI 191 (100 - 79 - 2), Sec-butanol (78 - 92 - 2), Solvente nº1 e Tolueno (108 - 88 - 3)). É indicado como diluente de produtos com base de nitrocelulose (UFPR, 2013).

Também é definido como uma mistura de solventes voláteis, que são bem balanceados, incolor, límpido, com um odor característico e é inflamável (RAUTER, 2015).

#### **2.2.1.2 Aguarrás**

É uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, possui uma destilação na faixa de 150 °C até 216 °C. Possui um baixo teor de enxofre devido ao processo de desodorização ao qual é submetida, onde são retirados os compostos de enxofre, conferindo assim ao produto menor corrosividade e um odor mais fraco. Seu poder de solvência é muito bom e possui um ponto de fulgor que confere segurança a quem irá manusear (PETROBRÁS, 2015e).

Possui um intervalo de densidade de 0,760 a 0,798 g/cm<sup>3</sup>. Apresenta temperatura de ebulição de 150 °C, ponto de fulgor a 38 °C (NORQUIMA, 2010).

Sua aplicação normal é basicamente na formulação de tintas, vernizes e na preparação de ceras e polidores. Por ser um produto altamente inflamável, deve-se tomar todos os cuidados para se evitar incêndios e acidentes no seu armazenamento (NORQUIMA, 2010).

## 2.3 LUBRIFICANTES

Lubrificantes servem para criar uma separação entre componentes em movimento através de uma fina película que previne o contato entre os elementos. Caso, por algum motivo, ocorra este atrito, haverá um aumento de temperatura pontual, que acarretará em uma fusão entre os metais, chamada de “gripagem” (solda de metais após a fusão) (MARTINS, 2015).

A lubrificação de MCI apresenta um grau de complexidade alto, uma vez que o lubrificante tem que apresentar todas suas características e propriedades durante todo o funcionamento do motor, ou seja, temperatura baixa ao dar partida no motor, depois, temperatura de trabalho alta devido a queima do combustível na câmara de combustão (BRUNETTI, 2015b).

Os lubrificantes são produzidos através da destilação do petróleo bruto (cerca de 1%), e após esta destilação são refinados e aditivados. Quando são destilados apenas, são denominados minerais, já os lubrificantes produzidos por outros processos, mesma que sua base seja proveniente de petróleo bruto, são chamados de lubrificantes sintéticos (MARTINS, 2015).

De acordo com Brunetti (2015b), ao usar o lubrificante se pretende:

- Diminuir o atrito e reduzir o desgaste de pistões, cilindros, anéis, mancais;
- Retirar o calor das superfícies dos mancais gerado pelo atrito e conseqüentemente resfriar sua superfície;
- Limpar superfícies e retirar partículas metálicas geradas pelo desgaste natural;
- Ajudar na vedação de compartimentos como câmara de combustão, cárter e entre parede do cilindro e anéis;
- Evitar que os componentes do motor sofram corrosão.

Os lubrificantes automotivos líquidos, são caracterizados por sua viscosidade, além dos aditivos usados para melhorar seu desempenho. Eles se subdividem com base na sua formulação, apresentado a seguir (PETROBRÁS, 1999):

- Minerais: obtidos por destilação do petróleo. As propriedades deste tipo de lubrificante dependem da natureza do óleo cru, já que sua composição é muito

variada, possui em sua formação grande número de hidrocarbonetos, que podem ser parafínicos, naftênicos e aromáticos. Este tipo de lubrificante é bastante utilizado e tem uma grande importância na lubrificação.

- Graxos: tem sua origem animal ou vegetal. Teve suas primeiras utilizações na época da tração animal, sendo os primeiros lubrificantes utilizados naquela época onde as necessidades não eram tão altas e exigentes como hoje. Atualmente são pouco usados por não suportarem as solicitações atuais como a alta temperatura.
- Compostos: são misturas de lubrificantes minerais e graxos. Esta mistura confere ao produto final uma maior oleosidade e maior facilidade de emulsão quando colocado em presença de vapor.
- Aditivados: são lubrificantes minerais ou sintéticos que recebem em sua composição a adição de substâncias que melhoram determinadas propriedades dos lubrificantes.
- Sintéticos: são desenvolvidos em laboratório e tem a finalidade de melhorar as propriedades do lubrificante e acrescentar outras muito importantes que o lubrificante não tem. Por exemplo: melhorar a viscosidade, a resistência à variação de temperatura, muito baixa depois muito alta. Possui um custo elevado, mas não deve ser substituído pelos minerais quando seu uso se faz necessário.

### 2.3.1 Propriedades dos Óleos Lubrificantes

São estas propriedades que definem o desempenho do lubrificante e sua qualidade quando solicitado no motor. Estas propriedades são (KIMURA, 2010):

- Viscosidade;
- Índice de viscosidade;
- Densidade;
- Ponto de fulgor;
- Ponto de fluidez;
- Total Acid Number / Total Base Number (TAN/TBN).

A comprovação da qualidade de um lubrificante se dá somente após ser aplicado e avaliado seu desempenho no serviço. A composição química do lubrificante está ligada a seu desempenho, resultante do petróleo bruto, da forma que os aditivos foram refinados e também como foi formulado o balanceamento deste lubrificante. Juntando todos estes fatores, terá o

lubrificante características físicas e químicas que permitem bom nível de qualidade e bom controle de sua uniformidade (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

### 2.3.1.1 Viscosidade

Esta propriedade é definida como a resistência que o fluido apresenta ao cisalhamento. De todos os parâmetros em toda a lubrificação, a viscosidade é considerada a mais importante. A viscosidade do lubrificante pode alterar quando submetido a variações do tipo: temperatura, pressão, etc., que também irá afetar a espessura do filme formado (CUERVA, 2013).

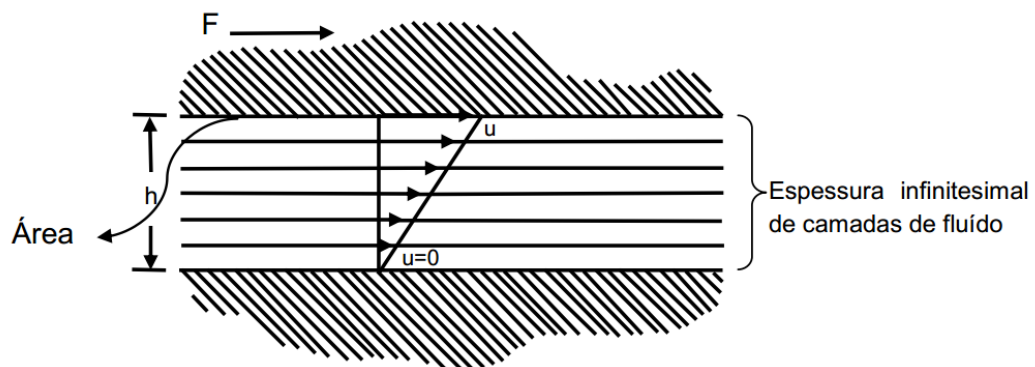
A viscosidade de lubrificantes diferentes sofrerá variações diferentes quando submetidos a alterações de temperatura. O conhecimento desta propriedade é importante para prever o comportamento do lubrificante em diferentes situações (CUERVA, 2013).

Esta propriedade se apresenta de dois tipos, a viscosidade dinâmica e a viscosidade cinemática.

A primeira se define como a proporção entre a espessura de fluido e as forças de cisalhamento. Por exemplo, tem-se duas superfícies planas separadas por uma camada de fluido que tem uma espessura “ $h$ ”, assim a força necessária para mover a superfície superior é proporcional à área e a velocidade, “ $A$ ” e “ $u$ ” respectivamente.

A Figura 1 mostra uma representação do exemplo citado.

Figura 1 – Representação da viscosidade dinâmica



Fonte: Stachowiak e Batchelor (2005).

Já a viscosidade cinemática é a razão entre a viscosidade dinâmica e a densidade do fluido. A unidade mais utilizada é a Stoke [S]. Os lubrificantes geralmente apresentam



densidades na faixa de 700 a 1200 [kg/m<sup>3</sup>], sendo a do mineral de 850 [kg/m<sup>3</sup>] e para encontrar sua viscosidade dinâmica em [cP], basta multiplicar a viscosidade do lubrificante em [cSt] pela sua densidade em [g/cm<sup>3</sup>] (STACHOWIAK e BATCHELOR, 2005).

### ***2.3.1.2 Índice de viscosidade ( $I_v$ )***

Este índice pode ser definido como sendo a relação que existe entre o quanto a viscosidade de um lubrificante varia de acordo com a temperatura e esta mesma variação para dois outros lubrificantes padrões, sendo que um deles é de alta sensibilidade ( $I_v = 0$ ) e o outro de baixa sensibilidade ( $I_v = 100$ ) (BRUNETTI, 2015b).

Assim, pode-se dizer que todos os lubrificantes têm sua viscosidade reduzida com a temperatura, só que os que possuem alto  $I_v$  não terão tanta variação da viscosidade quanto os de baixo  $I_v$  (BRUNETTI, 2015b).

### ***2.3.1.3 Ponto de fulgor***

É a menor temperatura na qual o lubrificante desprenderá vapores que no ar, ao ser colocado em presença de uma chama, irá se inflamar momentaneamente, formando um lampejo (“flash”) e esta chama logo se apaga (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006).

Quanto menor for a temperatura de fulgor de um lubrificante, maior será a possibilidade do lubrificante se vaporizar dentro de um motor quando este estiver quente. O valor mínimo deve ficar em torno de 205°C, mas se puder ser maior é melhor. Os lubrificantes no mercado têm seu ponto de fulgor entre 180 e 270°C (MARTINS, 2015).

### ***2.3.1.4 Ponto de fluidez***

Esta característica é muito importante para regiões frias, ou muito frias, onde esta redução da temperatura pode deixar o lubrificante com aspecto de sólido, devido à redução da fluidez (MARTINS, 2015).

É o ponto que o lubrificante ainda flui, ou seja, a temperatura mínima que o lubrificante consegue fluir. Determina-se esta temperatura em testes de laboratório, de acordo com o Ensaio

Padrão D-97-05 da ASTM, onde se faz resfriamentos sucessivos de 3 °C cada, em uma amostra de lubrificante em um frasco de vidro e verifica-se se o lubrificante ainda consegue fluir (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006).

O ponto de fluidez, ou a temperatura mínima de escoamento do lubrificante, é definida como sendo 3 °C acima da temperatura a qual o lubrificante não apresenta movimento durante 5 segundos, ou seja, o ponto que o mesmo não flui mais (MARTINS, 2015).

### ***2.3.1.5 Total Acid Number / Total Base Number (TAN/TBN)***

O TAN e TBN, traduzindo, são abreviaturas de número de acidez total e número de basicidade total respectivamente.

Os lubrificantes ao reagirem com o oxigênio da atmosfera, e isto ocorre continuamente, produzem produtos que são ácidos na natureza e são produtos de oxidação orgânica. À temperatura ambiente, esta transformação tem pequeno efeito no lubrificante devido ser muito lenta. Mas como é de se esperar, ao elevar esta temperatura a temperaturas de trabalho de um equipamento, esta transformação é bem mais rápida, podendo chegar a níveis altos de ácidos (ANALÍTICA, 2016).

Esta acidez no lubrificante, tende a aumentar sua viscosidade e se deposita como lacas (tipo de goma ou verniz) nas superfícies quentes (TESTOIL, 2016).

Esta medida de acidez do lubrificante geralmente não se aplica a lubrificantes de motores de combustão interna (MCI), uma vez que o mesmo só sofrerá tais alterações em caso de contaminações severas (TESTOIL, 2016).

Os lubrificantes para MCI estão continuamente expostos aos produtos da combustão, geralmente ácidos que precisam ser neutralizados para não causar a corrosão dos componentes internos do motor. Para isso, os lubrificantes devem possuir em sua formulação aditivos alcalinos que neutralizam esta acidez, principalmente ácidos fortes como o nítrico e o sulfúrico e os ácidos fracos resultantes da oxidação do lubrificante em seu fim de vida. Logo, o TBN de um lubrificante é o quanto este lubrificante tem de aditivos alcalinos para neutralizar estes ácidos (TESTOIL, 2016).

O lubrificante deve ser trocado quando o TBN atingir 2 ou 3 mg KOH/g, uma vez que abaixo destes valores a queda até se esgotar é bem rápido e pode causar danos ao motor (FERNANDES, 2012).

Esta reserva alcalina é muito importante para prevenir a corrosão prematura dos componentes do motor (TESTOIL, 2016).

### **2.3.2 Classificação**

A classificação dos lubrificantes leva em consideração o desempenho, sendo as duas principais a *American Petroleum Institute (API)* e *Association of European Automobile Constructors (ACEA)*. Estes órgãos, juntamente com a SAE e ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e fabricantes de motores, estabelecem os níveis de performance. Estas classificações têm papel importante na identificação dos diferentes níveis de desempenho dos lubrificantes para motores. Esta identificação auxilia os consumidores a escolher o lubrificante correto para seu veículo (ALVES, 2015).

#### **2.3.2.1 Classificação API**

Esta classificação API, que significa Instituto Americano do Petróleo, é internacionalmente a mais aceita e é representada por códigos de duas letras, sendo que a primeira pode ser S ou C. O S significa (*Spark Ignition* ou Service), esta designação é para os lubrificantes que são usados em motores gasolina, etanol ou flex e o C (*Compression Ignition* ou Commercial), estes são lubrificantes utilizados em motores a diesel (SOUZA, 2010).

O Quadro 2 mostra a evolução da classificação API ao longo dos anos, desde sua homologação em 1940 até os dias atuais.

Quadro 2 – Evolução da classificação API

MOTORES A GASOLINA		
API	TIPO DE SERVIÇO	ANO DA HOMOLOGAÇÃO
SA	Óleo mineral puro	1940/1945
SB	Somente óleo com inibidores	1961
SC	Aprovado para garantia	1964
SD	Aprovado para garantia	1968
SE	Aprovado para garantia	1972
SF	Aprovado para garantia	1980
SG	Aprovado para garantia	1989
SH	Aprovado para garantia	1994
SJ	Aprovado para garantia	1997
SL	Aprovado para garantia	2001
SM	Introduzido em 30/11/2004	2004
SN	Introduzido em outubro de 2010 para motores lançados em 2011	2010

Fonte: Adaptado de Santos Junior (2011).

### 2.3.2.2 Classificação SAE

A classificação SAE J300 e SAE J306, são as graduações dos lubrificantes utilizados em motores de combustão interna e transmissões de potência respectivamente (CUERVA, 2013).

A viscosidade é medida em baixa temperatura e a 100 °C, sendo que à baixa temperatura, indica a capacidade de lubrificar na partida a frio e à 100 °C é a situação de funcionamento normal de um motor. A classificação SAE pode apresentar a letra “W” em sua descrição, sendo que esta letra representa inverno (winter), indica que o óleo tem boa capacidade de lubrificação em ambientes frios. Quando o óleo não apresentar a letra “W”, diz que o lubrificante é monograduado, uma vez que só apresenta um grau SAE. Em regiões onde a temperatura oscila muito, como algumas regiões do Brasil, que apresenta alta temperatura durante o dia e baixa durante a madrugada e pela manhã, é importante esta característica dos lubrificantes (CUERVA, 2013).

O Quadro 3 representa as características dos lubrificantes de acordo com sua viscosidade para baixas e altas temperaturas.

Quadro 3 – Característica de lubrificantes SAEJ300

Grau SAE	Viscosidade a baixas temperaturas		Viscosidade a altas temperaturas		
	Máxima viscosidade no arranque a frio (mPa.s a °C) (1)	Máxima viscosidade de bombagem (mPa.s a °C) (2)	Baixa taxa de corte Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s) a 100 °C (3)		Alta taxa de corte Viscosidade (mPa.s a 150 °C) (4)
			Min.	Máx.	Min.
0 W	6 200 a -35	60 000 a -40	3.8	-	-
5 W	6 600 a -30	60 000 a -35	3.8	-	-
10 W	7 000 a -25	60 000 a -30	4.1	-	-
15 W	7 000 a -20	60 000 a -25	5.6	-	-
20 W	9 500 a -15	60 000 a -20	5.6	-	-
25 W	13 000 a -10	60 000 a -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	2.9 (5)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (6)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

1cSt= 1 mm<sup>2</sup>/s; 1cP=1mPa.s

(1) Simulador de arranque a frio (ASTM D 5293)  
 (2) Mini viscosímetro rotativo (ASTM D 4684)  
 (3) Viscosidade cinemática (ASTM D 445)  
 (4) Simulador de HS/HT (ASTM D 4683, ASTM D 4741, CEC I-36-a-90)  
 (5) Graus: 0W-40, 5W-40, 10W-40  
 (6) Graus: 15W-40, 20W-40, 25W-40, 40

Fonte: Apetro (2016).

### 2.3.3 Aditivos

São substâncias químicas adicionadas aos óleos básicos, fazendo com que os lubrificantes tenham reforçadas algumas propriedades ou até mesmo acrescentadas em sua composição. Os principais aditivos são (FERNANDES, 2012).

- Detergentes: mantém a limpeza interna do motor;
- Dispersantes: mantém o equipamento limpo, mantendo materiais que são insolúveis em suspensão no lubrificante através de forças polares;

- Detergentes alcalinos: também atua na limpeza, neutralizando os gases ácidos gerados na combustão, reduz as lacas, vernizes e carbonosos em forma de depósitos, evitando a fixação em anéis a alta temperatura;
- Antioxidantes: evita ou retarda a degradação do lubrificante devido à oxidação, evitando assim que o lubrificante fique espesso e forme compostos ácidos, borras, lodos ou vernizes;
- Passivadores de metais;
- Emulsificantes: em caso de contaminação com água, este aditivo permite a formação de emulsões (água e óleo) onde o lubrificante mantém suas propriedades, através de uma redução na tensão superficial entre os dois componentes;
- Anticorrosivos: protege o motor internamente contra a corrosão, devido à umidade proveniente de vapores que se condensam em seu interior e de produtos corrosivos originados da combustão incompleta do combustível;
- Antiferrugem: protege o motor do contato da água em seu interior através da formação de uma película protetora;
- Antiespumantes: quando em operação em baixa pressão, este aditivo evita a formação de espumas ou bolhas que, ao aumentar a pressão do lubrificante pode gerar deficiência de lubrificação, dando origem a um contato metal-metal, que gera danos prematuros além de cavitação;
- Extrema pressão: age reduzindo o desgaste quando se aumenta a pressão e temperatura em um determinado ponto;
- Modificadores de fricção: age de forma semelhante ao aditivo de extrema pressão, deposita composto de baixa fricção em forma de camada entre as superfícies móveis;
- Agentes de adesividade: faz com que o lubrificante não deslize pelas paredes do cilindro tão facilmente, garantindo assim o mínimo de lubrificante aderido às superfícies internas do motor;
- Abaixadores do ponto de fluidez: não permite a formação de cristais de parafina a baixas temperaturas, garantindo assim o fluxo de lubrificante;
- Melhoradores de índice de viscosidade: age diminuindo a variação da viscosidade devido à variação da temperatura;
- Corantes: auxilia na identificação visual do lubrificante;

- Antidesgaste: evita o contato entre as partes em movimento no motor, formando uma película protetora que se adere ao metal reduzindo seu desgaste.

A adição de aditivo ao lubrificante base se dá por meio de pacotes pré-determinados, com funções já definidas que se deseja conferir ao lubrificante.

Para se acrescentar detergentes, dispersantes e inibir a formação de ácidos, o aditivo deve conter cálcio e magnésio, juntos ou separados. Se a necessidade é antioxidante e inibidor de corrosão além de antidesgaste, o aditivo deve conter zinco e fósforo. O fósforo também atua como extrema-pressão, ou seja, suporta altas cargas sem romper a camada de lubrificante. Quando o aditivo apresentar molibdênio o mesmo possui a propriedade de lubrificante sólido ou modificadores de atrito (PAIVA, 2015).

Os derivados orgânicos do cobre, são utilizados quando se busca a função de antioxidante para o lubrificante.

## 2.4 ANÁLISE DO LUBRIFICANTE UTILIZADO

A análise do lubrificante usado, equivale a verificar sua contaminação ao utilizar combustível adulterado e a perda das propriedades fundamentais do lubrificante através do consumo elevado dos aditivos nele presentes.

Quando se trata de contaminação do lubrificante, verifica-se se a amostra contém partículas metálicas, combustível, materiais carbonáceos e, quando se analisa a degradação, verifica-se as propriedades do óleo, como viscosidade, detergentes etc. (MALPICA, 2007).

FERNANDES (2012) realizou um trabalho semelhante do ponto de vista de análises feitas nas amostras de lubrificantes, no entanto em seu trabalho o combustível não sofreu qualquer tipo de adulteração. O interesse de seu trabalho era avaliar o desgaste do lubrificante em uso normal.

### 2.4.1 Tipos de análises

Existem vários tipos de análises de lubrificante que podem ser feitos, mas neste caso, as análises feitas nas amostras do lubrificante usado, foram:

- Viscosidade;
- Espectrometria de Raios X;

- Monitor de partículas ferrosas – (PQA (Particle Quantifier Analysis));
- Espectro de infravermelho.

### 2.4.1.1 Viscosidade

A Figura 2 mostra o viscosímetro Saybolt que foi utilizado para as análises de viscosidade.

Figura 2 – Viscosímetro Saybolt



Fonte: Elaboração do autor.

O ensaio consiste em passar o óleo com temperatura pré-estabelecida, (40 °C e 100 °C) através de um capilar calibrado e medir o tempo de escoamento. Após medir o tempo, utilizando a equação (2) calcula-se a viscosidade do lubrificante.



$$\text{Saybolt Universal seconds} = (\text{centistokes}) \times (B) \quad (2)$$

Onde:  $B = 4,632$  para  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $B = 4,664$  para  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

A viscosidade pode ser expressa de duas formas, dinâmica ou cinemática, sendo a primeira envolve o peso específico do fluido e a segunda não.

No caso de óleos, a viscosidade comumente expressada é a cinemática e a unidade mais usual é  $\text{cm}^2/\text{s}$ , centistoke cujo símbolo é (cSt).

Nestes testes, deve-se levar em consideração duas situações, se a viscosidade estiver 10% abaixo da viscosidade do óleo novo, deve-se ficar em atenção e se a viscosidade estiver 20% abaixo a viscosidade do óleo novo, o status deve ser alterado para alerta.

#### ***2.4.1.2 Espectrometria de Raio X***

Esta análise é feita através de um espectrômetro de raios X, que é um instrumento que determina quantitativamente quais elementos estão presentes em uma amostra de lubrificante a ser analisada.

Seu funcionamento se dá pela aplicação de raios X na superfície da amostra e em seguida a análise dos raios X emitidos. Trata-se de uma técnica não destrutiva, que pode ser utilizada em diversos tipos de amostras, incluindo sólidos, líquidos, pós, etc. A Figura 3 mostra o aparelho de espectrometria de Raios X.

Figura 3 – Espectrômetro de Raios X



Fonte: Elaboração do autor.

Os principais elementos detectados neste teste são: fósforo, zinco, cálcio, bário, silício, magnésio, cloro, enxofre e molibdênio.

As funções destes elementos como aditivos dos lubrificantes são mostradas abaixo (MALPICA, 2007):

- Fósforo e zinco, são responsáveis pela proteção ao desgaste, oxidação e inibe a corrosão.
- O cálcio e o magnésio, são detergentes e dispersantes, mantém as superfícies limpas e os materiais insolúveis em suspensão, além de inibir a formação de ácidos.
- O cálcio pode também desempenhar a função de antiespumante, assim como o silício.
- O cloro e o enxofre, são aditivos de extrema pressão. Quando se tem cargas muito elevadas são estes os elementos responsáveis por reagir com o metal formando uma camada protetora e forte o suficiente para não se romper, garantindo assim a lubrificação.
- O molibdênio é um lubrificante sólido, que forma uma película sólida sobre a superfície metálica, auxiliando a redução do atrito.

### 2.4.1.3 Monitor de partículas ferrosas – PQA

A ferrografia quantitativa consiste na quantificação do tamanho e número de partículas em suspensão no óleo lubrificante, que é coletado do aparato em questão. Através desta técnica podem-se obter informações sobre o grau de severidade do desgaste presente no objeto a ser analisado através do acompanhamento contínuo, geralmente visto através de uma linha de tendência (“trend line”).

A Figura 4 mostra o monitor de partículas ferrosas que foi utilizado na análise de PQA.

Figura 4 – Monitor de partículas ferrosas



Fonte: Elaboração do autor.

A quantificação é feita utilizando-se o contador de partículas (PQA), que permite quantificar as partículas ferromagnéticas de modo rápido e objetivo.

O acompanhamento da máquina, por meio da ferrografia quantitativa, possibilita a construção de gráficos, análises de tendências, assim permitindo analisar e intervir se necessário quando há condições de maior severidade.

O mostra as especificações técnicas do monitor de partículas ferrosas.

Quadro 4 – Especificações técnicas do monitor de partículas

Fabricante	Kittiwake Developments Ltda
Voltagem nominal	110 / 240 V
Frequência	47 a 63 Hz
Consumo	15 watts
Diâmetro Máximo da Amostra	53 mm
Temperatura Ambiente	20 °C – 30 °C

Fonte: (CUERVA, 2013).

Este processo utiliza um magnetômetro que possui duas bobinas que são organizadas de forma que a de amostra (sensor) e a de referência estão em equilíbrio quando não há amostra no sensor. Neste sistema as duas bobinas respondem de maneira igual quando das mudanças de temperatura ambiente. Ao colocar uma amostra de lubrificante que contém partículas ferromagnéticas na bobina de amostra (sensor) o equilíbrio entre as bobinas será alterado. Esta alteração do equilíbrio, resulta em um sinal que é ampliado, filtrado e exibe-se o índice “PQ”, que está diretamente relacionado com a massa das partículas existentes na amostra (LAGO, 2007).

Existem botões montados em um painel dianteiro que controla diretamente o PQA, mas este controle pode ser feito também por via remota através de um teclado de um computador que esteja ligado a ele. No painel dianteiro do PQA, através de uma exibição alfanumérica é possível selecionar os modos alternativos de operação, e neste mesmo painel são exibidos os índices de PQ de cada amostra (LAGO, 2007).

#### ***2.4.1.4 Espectrômetro de infravermelho***

A análise de espectro de infravermelho é feita utilizando o equipamento Fluid Scan Q1000.

A Figura 5 mostra o equipamento Fluid Scan Q1000, utilizado nas análises de infravermelho.

Figura 5 – Fluid Scan Q1000



Fonte: Elaboração do autor.

O Fluid Scan fornece uma medição direta da condição de um lubrificante. Detecta com rapidez a contaminação e degradação de um lubrificante e se o dano é mineral ou sintético. Ele analisa o TBN, oxidação, sulfatação, nitretação e teor de água além do esgotamento de aditivos de um lubrificante (SPECTRO SCIENTIFIC, 2012).

O aumento do TAN se dá devido ao acúmulo de ácidos orgânicos criados pela degradação óxida do óleo base do lubrificante. O TBN representa a reserva alcalina que o lubrificante ainda possui para neutralizar a acidez formada. Quem mais sofre com esta situação são os motores diesel, onde se deve fazer um bom acompanhamento do TBN. Esta criticidade em motores diesel se dá pelo seu tipo de funcionamento, aquecimento, resfriamento, combustão, enquanto que em redutores, engrenamentos isto não é tão afetado (SPECTRO SCIENTIFIC, 2014).

Possui uma boa repetibilidade e seu guia de ondas minimiza a interferência atmosférica e maximiza sua eficiência, tornando as análises mais confiáveis (SPECTRO SCIENTIFIC, 2012).

Os aditivos mais utilizados são o cálcio sulfonato de magnésio, fenatos e salicilatos (SPECTRO SCIENTIFIC, 2014).

É um equipamento que utiliza pouca quantidade de amostra em seus testes, apenas algumas gotas são suficientes para as análises, o que evita o desperdício e evita também que o equipamento venha a sujar, tornando sua limpeza fácil e rápida, sem necessidade de produtos de limpeza complexos (SPECTRO SCIENTIFIC, 2012).

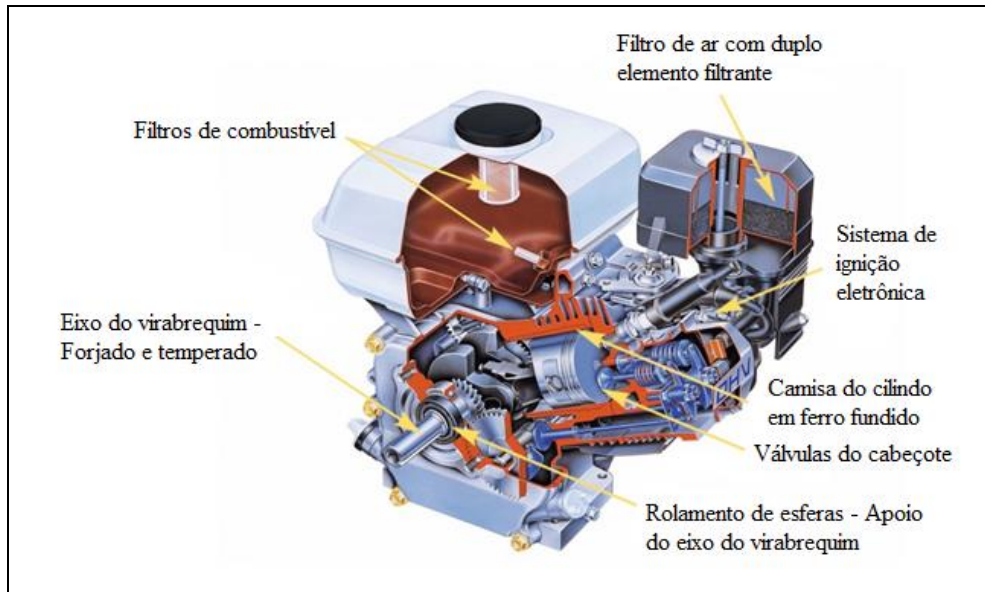
### 3 MATERIAL E MÉTODO

O material e método utilizado para elaborar este trabalho está dividido em sete subitens. No primeiro é descrito o motor, suas características. No segundo é descrito como foi feita a instrumentação da bancada utilizada. No subitem três são descritos os ciclos, tempo, duração etc. No quarto subitem é descrita a maneira como foi feita a contaminação do combustível. No quinto subitem são descritos os testes realizados. No subitem sexto é descrito o procedimento para retirar as amostras e no último subitem, o sétimo são descritas as análises que foram realizadas.

#### 3.1 MOTOR

Para se efetuar os testes de funcionamento, foi utilizado um motor Honda quatro tempos, OHV, monocilíndrico de 163 cm<sup>3</sup> e potência máxima de 5,5 CV/3.600 rpm e potência líquida de 4,8 CV/3.600 rpm. O torque máximo de 1,10 kgf.m/3.600 rpm e torque líquido de 1,05 kgf.m/2.500 rpm. A capacidade de lubrificante no cárter é de 0,6 litros e a capacidade de combustível (gasolina) é de 3,1 litros. Este equipamento possui um sensor de falta de lubrificante que se por algum motivo o nível do lubrificante baixar a níveis críticos, o motor desliga para preservá-lo. A rotação em marcha lenta é de  $1.400_{-150}^{+200} rpm$  (HONDA, 2015). Este modelo de motor não possui filtro de lubrificante. A Figura 6 mostra o motor Honda utilizado.

Figura 6 – Motor Honda GX 160 em corte



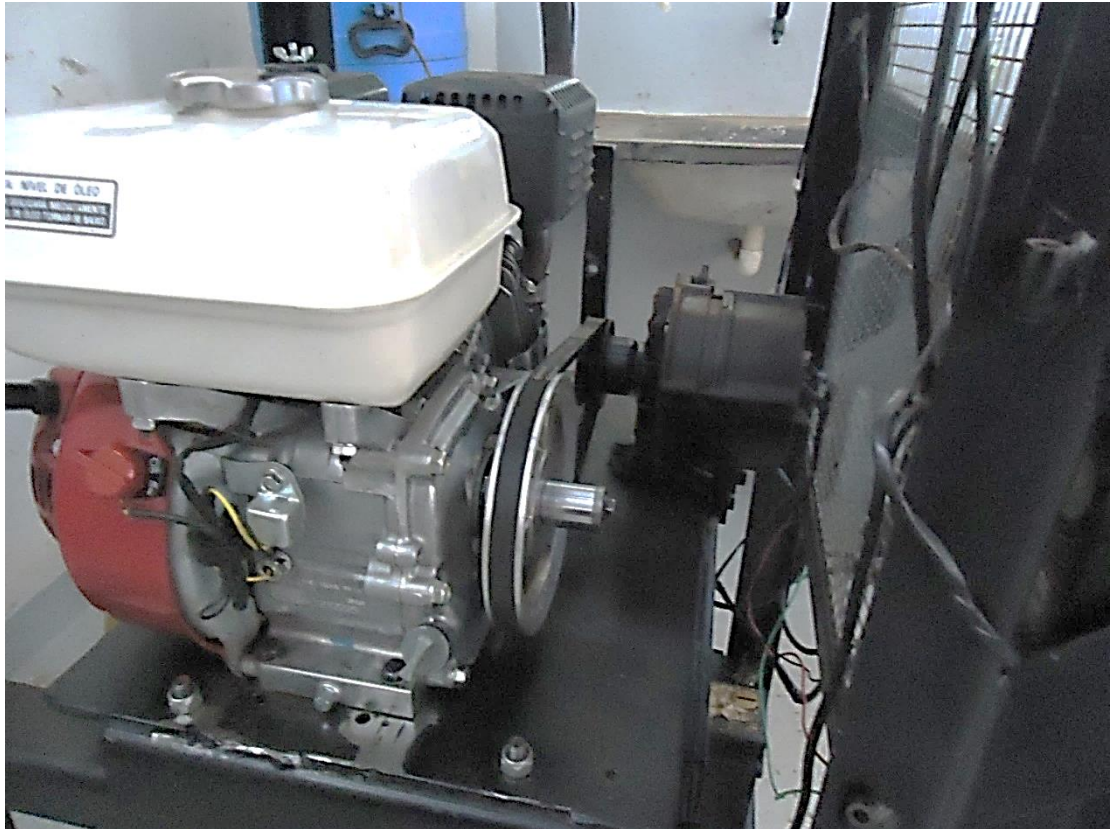
Fonte: Adaptado de Helmuth repair (2016).

O lubrificante recomendado pelo fabricante é o genuíno Honda SAE 10W-30 SJ JASO MA semissintético e foi o utilizado. Para uso geral, na falta do lubrificante genuíno, pode ser utilizado qualquer outro lubrificante semissintético com as especificações do fabricante, ou seja, SAE 10W-30 SJ JASO MA semissintético ou outro com especificação superior (HONDA, 2015).

Este motor foi montado em uma bancada onde foi acoplado a um alternador através de polias e correia, para simular a carga de trabalho do dia a dia, conforme Figura 7.



Figura 7 – Motor montado na bancada



Fonte: Elaboração do autor.

Como o motor foi adquirido novo, especificamente para este projeto, foi necessário passar pelo processo de amaciamento, conforme manual do proprietário (HONDA, 2015), sendo um funcionamento de 20 horas sem carregamento. Ao final do amaciamento, foi feita a revisão do motor, com a retirada do lubrificante usado, que foi descartado, e desmontagem para limpeza interna. Após a revisão, com o motor montado, iniciaram-se os ciclos específicos para o trabalho.

A Figura 8 dá uma visão geral da bancada onde o motor foi instalado.

Figura 8 – Bancada do motor



Fonte: Elaboração do autor (2016)

Para que o lubrificante tivesse a mesma solicitação em todos os testes, com as diferentes misturas de combustível e contaminantes, a rotação foi pré-determinada e fixada.

A determinação de uma rotação em torno de 2.000 rpm, é devido ao fato que esta é a rotação onde o veículo tem um consumo de combustível moderado e um bom desempenho.

A rotação foi fixada na faixa de 2.000 a 2.400 rpm. Para se conseguir esta rotação, foi utilizada a regulagem da marcha lenta através de seu parafuso. O motor foi colocado em funcionamento com gasolina limpa e foi feita a regulagem, a qual não foi alterada até o fim de todos os testes.

### 3.2 INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA

A bancada conta com um relógio horímetro e tacômetro, sendo que a leitura é feita alternadamente, ou seja, com o motor desligado, o relógio mostra as horas acumuladas até o momento e ao pressionar o botão seletor, ele mostra as horas parciais trabalhadas. Quando o motor está em funcionamento, o relógio mostra a rotação do motor e ao pressionar o seletor ele muda para as horas parciais trabalhadas. As horas acumuladas não podem ser zeradas, mas as parciais sim, para isto quando o motor estiver desligado, pressiona-se o botão seletor por dois segundos e o relógio muda para o temporizador parcial, pressionando-se novamente o botão seletor por três segundos ele zera e, neste momento, está pronto para iniciar uma nova contagem. A Figura 9 mostra o horímetro utilizado na bancada.

Figura 9 – Horímetro



Fonte: Elaboração do autor.

O relógio horímetro/tacômetro funciona com a energia induzida pelo cabo de vela. Este relógio possui dois fios e para ser instalado, basta enrolar um dos fios no cabo de vela, dando cinco voltas e o outro fio deve ser ligado na carcaça do motor, que é o negativo.

A Figura 10 mostra o detalhe da montagem do fio do horímetro no cabo de vela do motor.



Figura 10 – Montagem do fio do horímetro no cabo de vela



Fonte: Elaboração do autor (2016)

O horímetro possibilita configurar o tipo de motor ao qual ele está ligado, ou seja, se o motor é dois ou quatro tempos e a quantidade de cilindros que o motor possui. Neste caso ele foi configurado como um motor quatro tempos e um cilindro apenas.

### 3.3 ETAPAS DOS TESTES – CICLOS

Neste subitem são descritos os ciclos. A duração de cada um e a quantidade de ciclos até o final da pesquisa.

#### 3.3.1 Tempo gasto em cada ciclo

A duração de cada ciclo foi definida com base na velocidade regulamentar de uma cidade média, que é entre 40 e 50 km/h. O motor estacionário Honda é similar a um de motocicleta, onde as trocas de lubrificante devem ser feitas a cada 4.000 km rodados. De acordo com os manuais de veículos automotores, este intervalo de troca de 4.000 km, é baseado em

um sistema de uso normal, mas se o uso for severo, este intervalo deve ser a metade desta quilometragem, ou seja, 2.000 km.

O uso severo é caracterizado por:

- Transitar em vias de grande movimento, onde o trânsito é lento, e ocorre o que se chama de anda e para;
- Transitar em vias não pavimentadas, sujeito a poeira excessiva;
- Transitar distâncias curtas, característica de cidades pequenas, onde o veículo não atinge a temperatura ideal de trabalho.

Assim, como o motor está em uma bancada, acoplado a um alternador, adotou-se o regime de trabalho severo. Baseado nestes dados, fazendo a conversão de quilômetros em horas, encontra-se 40 horas, que foi o tempo de duração de cada ciclo. A equação (3) apresenta o cálculo feito para descobrir quantas horas deveria ter em cada ciclo.

$$\text{horas} = \frac{2000\text{km}}{50\text{km/h}} = 40\text{h} \quad (3)$$

### 3.3.2 Quantidade de ciclos

A quantidade de ciclos foi a seguinte: para a querosene com razão de contaminação de 1%, foram nove ciclos, sendo um de gasolina limpa e oito com a querosene, isto em uma primeira etapa. Na segunda etapa foram quatro ciclos para cada contaminante, sendo eles querosene, etanol e thinner, nos percentuais de 5, 10, 15 e 20% em cada ciclo, totalizando dezesseis testes, quatro com cada contaminante.

## 3.4 CONTAMINAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Ao adicionar o contaminante à gasolina “C”, ocorre a mistura destas duas substâncias e ao fazer o teste da proveta para aferir o percentual de etanol, há uma diferença, pois, o percentual de gasolina estará acrescido do contaminante e estará fora dos parâmetros. Assim, é necessário que se adicione etanol até a mistura apresentar o padrão exigido pela Lei de  $27\% \pm 1\%$ . Com o auxílio de uma planilha apresentada na Tabela 2, foram feitos os cálculos do percentual de etanol que estaria presente na mistura, se estaria dentro dos parâmetros exigidos

pela ANP, caso estivesse fora, como estava quase sempre, a planilha mostrava quantos ml deveriam ser acrescentados para a correção. Esta tabela foi utilizada apenas para o teste com querosene na proporção de um até oito por cento.

Tabela 2 – Planilha de cálculo do querosene e etanol adicionados à gasolina

		PERCENTUAL DE CONTAMINANTE ADICIONADO À GASOLINA								
		0%	1%	2%	3%	4%	5,0%	6%	7%	8%
Contaminante	ml	0	40	80	120	160	200	240	280	320
Gasolina "C"	ml	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Gasolina	ml	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920	2920
Etanol inicial	ml	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
Etanol	%	27,0%	26,9%	26,8%	26,7%	26,7%	26,7%	26,6%	26,5%	26,4%
Acresc. Etanol	ml	0	10	20	30	40	55	65	75	85
<b>Volume Total</b>	<b>ml</b>	<b>4.000,00</b>	<b>4.050,00</b>	<b>4.100,00</b>	<b>4.150,00</b>	<b>4.200,00</b>	<b>4.255,00</b>	<b>4.305,00</b>	<b>4.355,00</b>	<b>4.405,00</b>

Fonte: Elaboração do autor.

Quando os contaminantes foram o querosene, etanol e thinner, nos percentuais de 5, 10, 15 e 20% a planilha utilizada para a correção é a apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Planilha de cálculo do contaminante e etanol adicionados à gasolina

PLANILHA PARA CÁLCULO DE ETANOL E CONTAMINANTE A SEREM ADICIONADOS À GASOLINA					
		5%	10%	15%	20%
Contaminante	ml	200,00	400,00	600,00	800,00
Gasolina "C"	ml	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Etanol (27%)	ml	1.080,00	1.080,00	1.080,00	1.080,00
Acresc. Etanol	ml	75,00	150,00	220,00	300,00
% Etanol após contaminação	%	27,02%	27,03%	26,97%	27,06%
Volume Total de Etanol	ml	1.155,00	1.230,00	1.300,00	1.380,00
Volume Total de mistura		4.275,00	4.550,00	4.820,00	5.100,00

Fonte: Elaboração do autor.

Todas as medidas de combustíveis foram feitas utilizando proveta, pipeta e béquer conforme mostra a Figura 11. Estes instrumentos foram utilizados com o intuito de deixar os volumes o mais preciso possível.

Figura 11 – Equipamentos utilizados para manipular o combustível



Fonte: Elaboração do autor (2016)

## 3.5 TESTES

Neste subitem são descritos como os testes ocorreram, como foi executado para cada tipo de contaminante.

### 3.5.1 Teste inicial do motor – Contaminante querosene

Foi identificado como teste inicial a etapa com uma pequena variação de adulteração do combustível para verificar o comportamento do motor e se o mesmo suportaria a adulteração, uma vez que existe histórico de um motor bem parecido que não suportou a adulteração do combustível e apresentou uma falha permanente.

O histórico mencionado acima foi de um teste feito em um motor semelhante, de outra marca, funcionando com gasolina adulterada com diesel, onde o mesmo não suportou a adulteração vindo a apresentar uma trinca significativa na tampa do cárter de onde surgiu um vazamento de lubrificante. Após esta falha foi feita a troca do motor e os testes reiniciaram.

Como o diesel tem uma cadeia de carbonos maior que a gasolina, ele é mais pesado e desta forma sua queima é irregular, não queimando completamente. Efeito este que não ocorre quando se utiliza o querosene, que possui uma cadeia de carbonos de tamanho bem próximo ao da gasolina, gerando uma boa queima (MARTINS, 2015).

O primeiro ciclo deste teste foi feito com gasolina “C” limpa e depois oito ciclos, a uma razão de um por cento de contaminação com querosene, de 1% até 8%. Cada ciclo de quarenta horas.

### **3.5.2 Testes com querosene, etanol e thinner**

Para a segunda etapa de testes, foram utilizados como contaminantes querosene, etanol e thinner. Os percentuais foram de 5, 10, 15 e 20%, sendo quatro ciclos para cada tipo de contaminante, totalizando dezesseis testes nesta segunda etapa.

Os ciclos também tiveram a duração de 40 horas, da mesma forma que foi feito na primeira etapa onde foi utilizado somente o querosene.

Nesta segunda etapa, foi observada a seguinte sequência de contaminantes: primeiro se utilizou o querosene, segundo utilizado foi o etanol e por último o thinner.

A ordem dos testes visou utilizar os contaminantes menos agressivos primeiro, deixando o thinner para o final dos testes, garantindo assim que seria feito o maior número de testes possíveis, caso o motor não suportasse.

## **3.6 AMOSTRAS**

Neste subitem será descrito o procedimento utilizado para retirar as amostras e como foi feita a limpeza do motor após cada coleta.

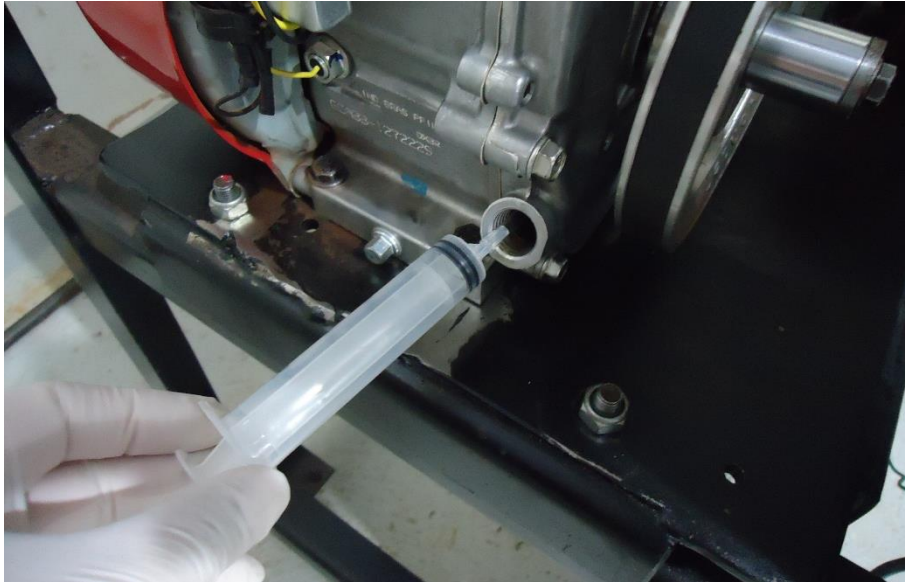
### **3.6.1 Procedimento para retirada das amostras e limpeza**

O motor foi abastecido com lubrificante e combustível e colocado para funcionar, após completar o ciclo de quarenta horas o motor foi desligado e foi retirada a amostra de lubrificante, conforme mostrado na Figura 12.



As amostras foram retiradas logo após desligar o motor, com isso o motor ainda estava quente e também a amostra estaria bem homogênea.

Figura 12 – Retirada da amostra



Fonte: Elaboração do autor.

Foi utilizada uma seringa descartável de 20 ml e mangueira descartável e a amostra retirada foi de aproximadamente 300 ml, para que fosse possível realizar todos os testes. A Figura 13 mostra a seringa, mangueira e frascos utilizados para retirar e acondicionar as amostras.

Figura 13 – Seringa, mangueira e frasco.



Fonte: Elaboração do autor.

A Figura 14 mostra os potes com as amostras de lubrificante já prontas para serem analisadas. Todos os potes foram devidamente identificados e etiquetados. As etiquetas continham as informações de percentual de lubrificante

Figura 14 – Amostras para análise



Fonte: Elaboração do autor.

A etiqueta utilizada para identificar as amostras é mostrada na Figura 15. Nela se identifica qual é o motor utilizado, qual a mistura contaminante, qual o percentual deste contaminante, qual o tempo de funcionamento com este lubrificante e qual a sua origem, ou seja, qual o fabricante que fornece o produto no mercado.

Figura 15 – Etiqueta de identificação de amostras

**AMOSTRA:** QUEROSENE 4

**Motor:** Motor Estacionário GX160 – Honda

**Horas do óleo em teste:** 40 horas -

**Local da coleta:** Rio Verde – UniRV

**Responsável pela coleta:** RONALDO L. FERREIRA

**Óleo:** Óleo Genuíno Honda SAE 10W30 SJ

**Combustível utilizado:** Gasolina C + 20% Querosene

Fonte: Elaboração do autor.

### 3.6.2 Limpeza

Após a retirada da amostra, o cárter do motor foi esgotado e o motor foi desmontado para uma limpeza interna bem criteriosa, retirando o restante do lubrificante usado do cárter, limpeza da tampa do cárter, que possui detalhes que retém lubrificante, galerias do comando válvulas, etc.

O restante do lubrificante utilizado, após retirada a amostra, foi acondicionado em recipientes plásticos e depois descartado em oficinas que fazem trocas de óleo e dão a destinação apropriada para este lubrificante, contribuindo assim para a não contaminação do meio ambiente.

Para este procedimento foi necessário retirar o motor da bancada, colocá-lo em uma mesa e iniciar a desmontagem. O passo seguinte é retirar a polia, utilizando um saca polias e só então se iniciou a desmontagem da tampa do cárter que é fixada com oito parafusos.

A Figura 16 mostra o início da desmontagem do cárter do motor que já está sem a polia.

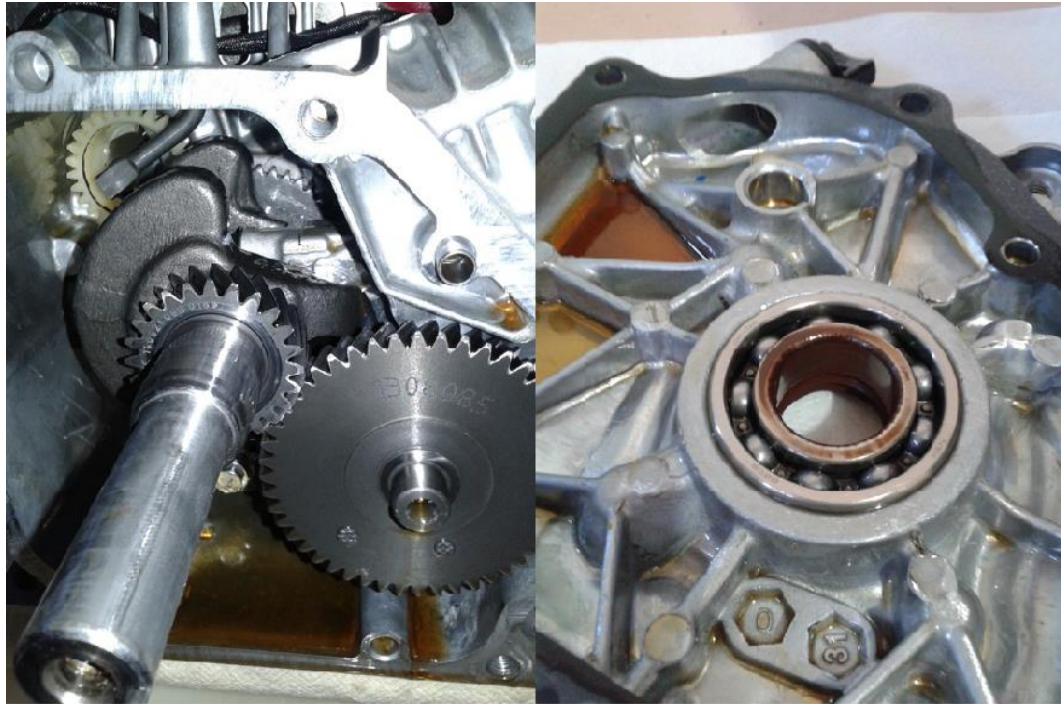
Figura 16 – Desmontagem do motor



Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 17, itens (a) e (b), mostram respectivamente o motor aberto e a tampa do cárter, onde se consegue ver claramente os detalhes citados anteriormente que retém lubrificante.

Figura 17 – Motor aberto – (a) motor aberto; (b) tampa do cárter



(a)

(b)

Fonte: Elaboração do autor.

Para este procedimento de desmontagem e limpeza, foi usado papel absorvente, evitando o uso de tecido porque este libera fragmentos ou fiapos que é prejudicial ao motor. Em seguida, montou-se o motor novamente, abasteceu-se com lubrificante novo e com gasolina com novo percentual de contaminação, zerou-se o horímetro parcial e deu início um novo ciclo.

Este procedimento de limpeza e retirada de amostras foi o mesmo para todos os ciclos e todos os contaminantes.

Após toda a limpeza, o motor foi novamente montado, foi instalada novamente a polia e o motor voltou para a bancada. Neste momento foi abastecido com lubrificante novo (sem uso) e o reservatório de combustível foi abastecido com um novo percentual de mistura.

### 3.7 ANÁLISES

Neste subitem são descritas as análises que foram realizadas nesta pesquisa.

### 3.7.1 Consumo

Este teste podia apresentar um resultado incorreto, devido ao tempo de trabalho do motor, ou seja, se o motor do início ao fim dos testes trabalhou 1040 h, que equivalem a 52.000 km rodados, ele teria um desgaste maior no final dos testes, podendo assim ter um valor de consumo incorreto.

Para se evitar este erro, ou minimizá-lo, os testes de consumo foram feitos após finalizar todos os testes de contaminação do lubrificante. Após as 1024 h rodadas, então foi retirado o tanque de combustível e adaptado um pequeno reservatório de 250 ml. Assim, os testes de consumo e rotação foram feitos com o mesmo nível de desgaste do motor para todas as amostras.

O teste de consumo foi feito utilizando quatro amostras de combustível de 250 ml, colocadas em um recipiente de 250 ml, e este conectado diretamente ao carburador do motor, como se fosse o próprio tanque de combustível do motor. Zerou-se o horímetro e colocou-se o motor em funcionamento até consumir todo o volume do reservatório. O tempo necessário para consumir este combustível foi registrado no horímetro. Repetiu-se o processo quatro vezes para cada amostra de combustível. Como se tem gasolina comum, gasolina com querosene, gasolina com etanol e gasolina com thinner, sendo quatro tipos de combustíveis diferentes e quatro percentuais de contaminação diferentes, a Tabela 4 mostra como foram distribuídos os 52 testes.

Tabela 4 – Quantidade de testes de consumo

Produto	Percentual	Qtde de amostras
Gasolina Comum		4
Gasolina + Querosene	5%	4
	10%	4
	15%	4
	20%	4
Gasolina + Etanol	5%	4
	10%	4
	15%	4
	20%	4
Gasolina + Thinner	5%	4
	10%	4
	15%	4
	20%	4
<b>TOTAL DE AMOSTRAS</b>		<b>52</b>

Fonte: Elaboração do autor.



### 3.7.2 Funcionamento do motor - Rotação

Os testes de rotação foram feitos simultaneamente com o de consumo. Ao funcionar o motor, o horímetro/tacômetro começa a medir o tempo de funcionamento do motor com a quantidade de combustível pré-determinada e marca também a rotação do motor.

Ao colocar o motor em funcionamento, espera-se 10 minutos para garantir que o motor está com as condições de trabalho estabilizadas, como temperatura ideal, assim se garantiu o mesmo parâmetro para todos os testes.

Após os 10 minutos, foi feito um filme de mais ou menos 90 segundos das marcações do tacômetro. Em seguida, foram anotados todos os valores da rotação, segundo a segundo, até atingir sessenta leituras. Com estes valores, foram plotados os gráficos da rotação para análise.

### 3.7.3 Percentual de etanol

Para se verificar o percentual de etanol na gasolina foram necessários uma proveta de 100 ml com tampa, solução aquosa com titulação de 10% e a amostra de gasolina que se quer verificar. Abaixo seguem os passos para o teste (ANP, 2007):

- Colocar 50 ml da amostra de gasolina na proveta previamente limpa, desengordurada e seca;
- Em seguida, adicionar a solução aquosa até completar 100 ml;
- Misturar bem, através de 10 inversões sucessivas da proveta. Somente inversões, não se deve agitar;
- Deixar em repouso por 15 minutos para que se tenha a completa separação das camadas;
- Anotar a quantidade de gasolina

Em seguida faz-se a solução da equação 4:

$$\% \text{Etanol} = \frac{50 - \text{gas}}{50} * 100 \quad (4)$$

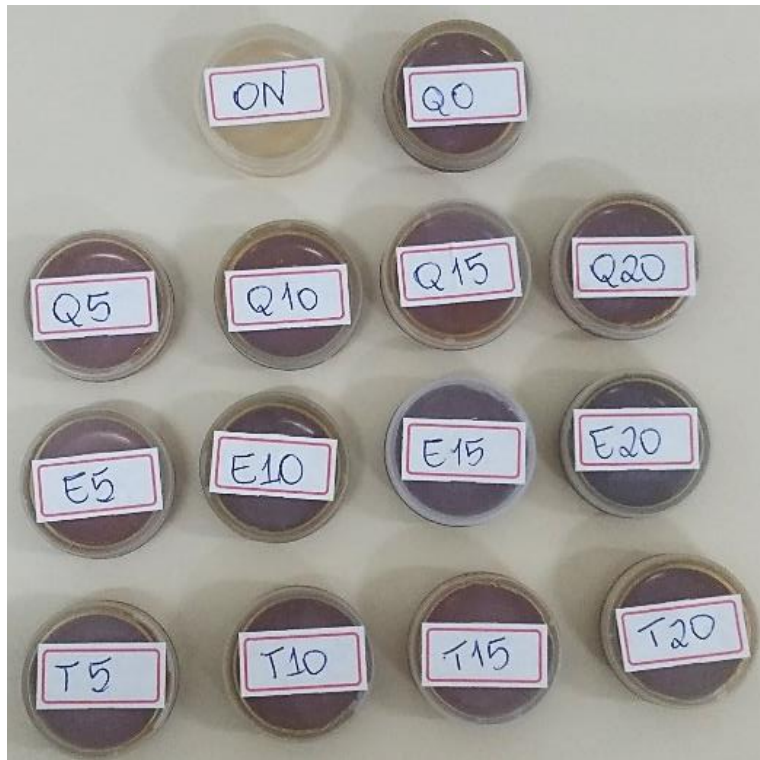
Onde 50 é a quantidade em ml da amostra de gasolina inicial e *gas* é a quantidade de gasolina em ml lida na proveta após os 15 minutos e separação completa. O resultado será o percentual de etanol presente na amostra de gasolina.

### 3.7.4 PQA

Para este teste foi utilizado o monitor de partículas ferrosas, mostrado na Figura 4.

A Figura 18 mostra as amostras já preparadas nos recipientes que são utilizados para o teste de PQA.

Figura 18 – Amostras preparadas para análise de PQA



Fonte: Elaboração do autor.

Para se preparar as amostras para a análise, é necessário que se agite bem o lubrificante que será analisado, para que as partículas que pelo efeito do tempo e da gravidade estão depositadas no fundo do frasco se misture de forma homogênea e fique em suspensão no lubrificante. Esta operação é feita no próprio frasco que foi feita a coleta.

Após esta etapa de homogeneização da amostra, utilizando-se uma pipeta coloca-se 2 ml de lubrificante em cada recipiente que em seguida recebe a tampa e a identificação.

Em seguida os recipientes são colocados nos orifícios da máquina, como mostrado na Figura 19, para a análise. O disco com as amostras começa a girar e vai liberando as amostras uma a uma para ser analisada.

Figura 19 – PQA – Vista frontal e superior



Fonte: Elaboração do autor.

Esta análise é rápida e fácil de fazer, o que permite fazer várias repetições buscando resultados melhores.

Para cada nova rodada de análises, é importante ter o cuidado de agitar a amostra para que as partículas não se depositem no fundo do recipiente, gerando assim leituras errôneas.

A Figura 20 mostra em detalhe o sensor onde a máquina faz a leitura da amostra para análise.



Figura 20 – Sensor do monitor de partículas



Fonte: Elaboração do autor.

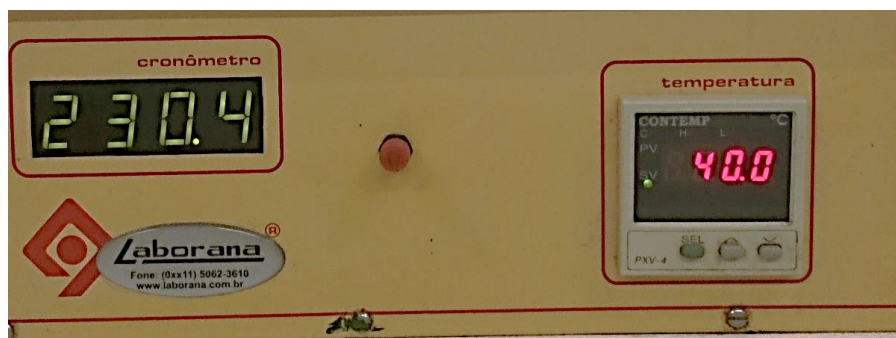
### 3.7.5 Viscosidade

Para esta análise foi utilizado o viscosímetro Saybolt, mostrado na Figura 2.

Este processo é realizado a uma temperatura de 40 °C e para atingir esta temperatura, o viscosímetro conta com um reservatório de água e aditivo que aquecida é a fonte de calor utilizada no processo.

Primeiro passo é ligar o viscosímetro e aguardar que o mesmo atinja a temperatura de 40 °C, que é determinada no quadro de controle de temperatura, mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Marcador de temperatura do Viscosímetro



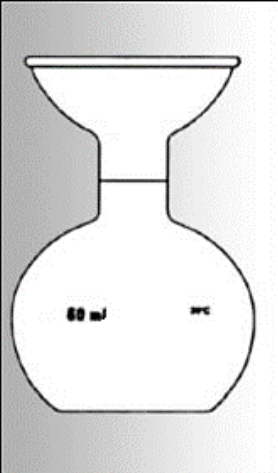
Fonte: Elaboração do autor.

Enquanto o equipamento se aquece, é necessário que a amostra esteja bem homogênea, e para se conseguir esta homogeneidade, basta agitar bem o frasco com o lubrificante.

Após atingida a temperatura e a amostra estar homogênea, coloca-se uma quantidade maior que 60 ml no compartimento do viscosímetro que é banhado pela água quente, que deve permanecer por aproximadamente quatro minutos antes do início do teste.

Após o aquecimento escoam-se 60 ml do lubrificante através de um furo e mede-se o tempo gasto para esta operação. Este volume é medido por um recipiente padronizado, conforme mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Frasco volumétrico para Viscosímetro Saybolt

Frasco volumétrico para viscosímetro de SAYBOLT, conforme ASTM D-88	
	
Capacidade, ml 60	Tolerância, ml $\pm 0,05$
$\varnothing$ externo aproximado, mm 54	Altura total aproximada, mm 85

Fonte: REAGEN – Produtos para laboratórios Ltda (2016).

Para se iniciar o escoamento retira-se a rolha que veda a parte inferior do compartimento aquecido e simultaneamente dispara-se o cronômetro que mede o tempo até que se atinja a marca de 60 ml no frasco padronizado.

Este tempo medido é o valor da viscosidade em Saybolt 40 °C, que depois foi convertido para viscosidade centistokes através da equação 2.

### 3.7.6 Espectrômetro de raios X

Para fazer esta análise é necessário um volume mínimo de 12 ml de lubrificante e a amostra deve estar bem homogênea. A Figura 23 mostra a preparação das amostras.

Figura 23 – Preparação das amostras – Espectrômetro de raios X



Fonte: Elaboração do autor.

O espectrômetro utilizado foi o modelo “X-Supreme” da marca “Oxford”, que é mostrado na Figura 3, e as amostras são colocadas no equipamento conforme mostrado na Figura 24 no lado esquerdo, e a do lado direito é a identificação da amostra.

Figura 24 – Introdução das amostras no Espectrômetro de Raios X



Fonte: Elaboração do autor.

O equipamento funciona com sistema operacional Windows XP e possui seu próprio programa de análise. Ao terminar a análise, o equipamento disponibiliza uma tabela com os valores encontrados para cada elemento.

### 3.7.7 Espectrômetro de infravermelho

Este procedimento foi realizado utilizando um equipamento Fluid Scan Q1000, a Figura 25 mostra os detalhes mais importante do equipamento.

Figura 25 – Detalhes do Fluid Scan Q1000



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013)

Este processo não exige preparação de amostra, apenas uma ou duas gotas do lubrificante já são suficientes para se fazer a análise. Como preparação, apenas garantir que a amostra do lubrificante esteja bem homogênea.

O processo consiste em puxar a célula de análise, que é do tipo flip-top (tampa de fácil remoção), dobrar a célula até que a mesma se fixe na base magnética que tem a função facilitar a operação, deixando-a imóvel. A Figura 26 mostra este primeiro passo.

Figura 26 – Fluid Scan Q1000 – Passo 1



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013)

Após fixar a célula na superfície magnética puxa-se a sua tampa, e assim é revelada a janela da célula, como mostrado na Figura 27 que é o passo 2.

Figura 27 – Fluid Scan Q1000 – Passo 2



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013)

Esta janela deve ser limpa antes de qualquer análise e esta limpeza exige apenas um pano macio ou toalha, como mostrado na Figura 28 que é o passo 3.



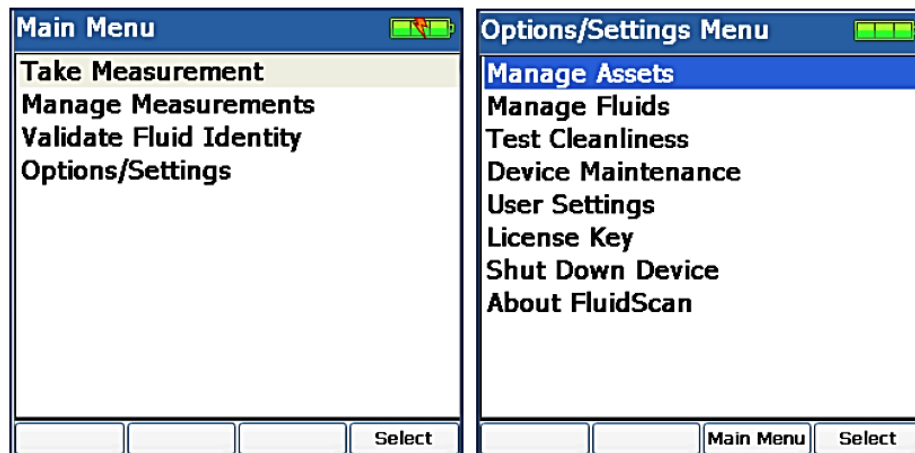
Figura 28 – Limpeza do equipamento – Passo 3.



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2012)

Feita a limpeza, já é possível iniciar o procedimento, sendo o próximo passo selecionar o tipo de lubrificante que será analisado. Liga-se o equipamento pressionando o botão ligar e após trinta segundos, o display apresentará a primeira imagem mostrada na Figura 29, onde foi selecionada a linha de opções/configurações (*options/settings*), última linha. Feito isto, abriu-se a próxima tela, mostrada na segunda imagem, onde-se selecionou gerenciar fluidos (*manage fluids*).

Figura 29 – Configurando o equipamento Fluid Scan

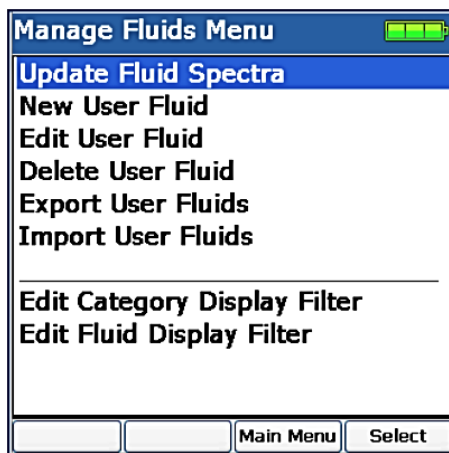


Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013).

A seleção é feita utilizando o *pad* direcional para selecionar a opção e utilizando os botões macios abaixo do display para confirmar a opção selecionada.

O próximo passo é atualizar os espectros de fluidos (*Update Fluid Spectra*) do equipamento, conforme mostrado na Figura 30.

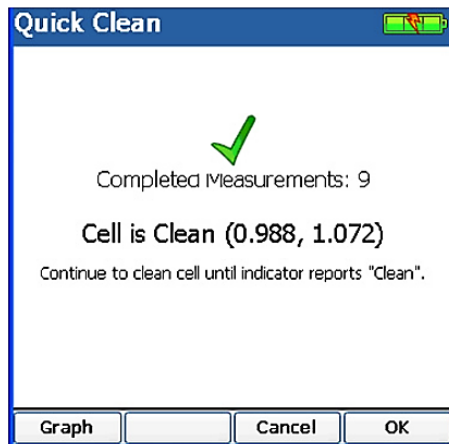
Figura 30 – Seleção dos Espectros



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013).

Ao selecionar esta opção, o equipamento inicia o teste para verificar se a janela da célula está limpa. Estando limpa, no display aparece a imagem mostrada na Figura 31. Caso apareça a mensagem “*Clean the Flip-Top Cell*” (limpe a célula flip-top), significa que a limpeza da célula não foi bem-feita e deve ser limpa novamente.

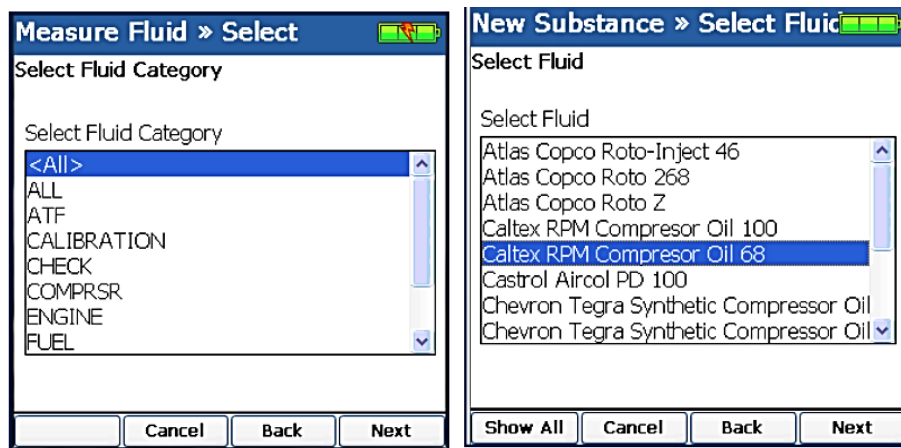
Figura 31 – Fluid Scan Q1000 – Passo 4



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013).

Após concluir todos os passos mostrados e a limpeza ter sido bem-feita, é dada sequência na análise, com a seleção da categoria do lubrificante. Foi então selecionada a opção motor (*engine*) e em seguida selecionado o fluido, conforme mostrado na Figura 32. O fluido selecionado não foi o mostrado na figura, a imagem é apenas um exemplo de como se faz.

Figura 32 – Seleção de categoria e tipo de lubrificante



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013).

Após selecionar o fluido, o display mostra a mensagem: “*Load the Flip-Top Cell with an Oil Sample*” (carregue a amostra de óleo), e com o auxílio de uma pipeta, coloca-se uma ou duas gotas do lubrificante na janela da célula para ser analisado, conforme mostrado na Figura 33.



Figura 33 – Carregamento do óleo no Fluid Scan Q1000

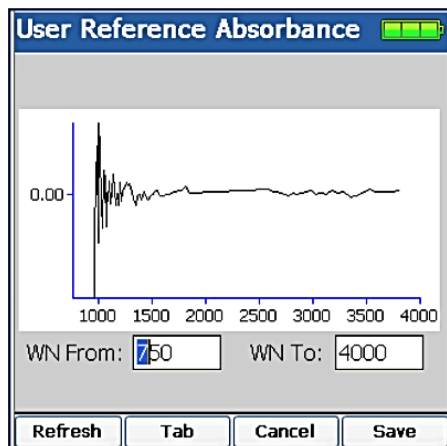


Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013)

Carregado o óleo para análise, foi pressionado o botão OK e o teste iniciou-se.

Quando finalizado o teste o display mostra a tela apresentada na Figura 34, então grave-se o resultado ou se quiser cancelar e repetir basta selecionar esta opção.

Figura 34 – Resultado da análise



Fonte: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2013)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item foram apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. Os resultados são apresentados em cinco subitens. O primeiro apresenta o resultado do teste de percentual de etanol na gasolina, o segundo apresenta o estado da vela de ignição. O terceiro subitem apresenta a rotação do motor em vazio e após acoplado ao alternador. O quarto subitem apresenta os resultados dos testes de espectrômetro de raios X e contagem de partículas metálicas para a contaminação com querosene de 1 a 8%. O quinto subitem apresenta os resultados de rotação do motor, contagem de partículas metálicas, viscosidade, espectrômetro de raios X e espectrômetro de infravermelho para os contaminantes: querosene, etanol e thinner com percentuais de 5, 10, 15 e 20%.

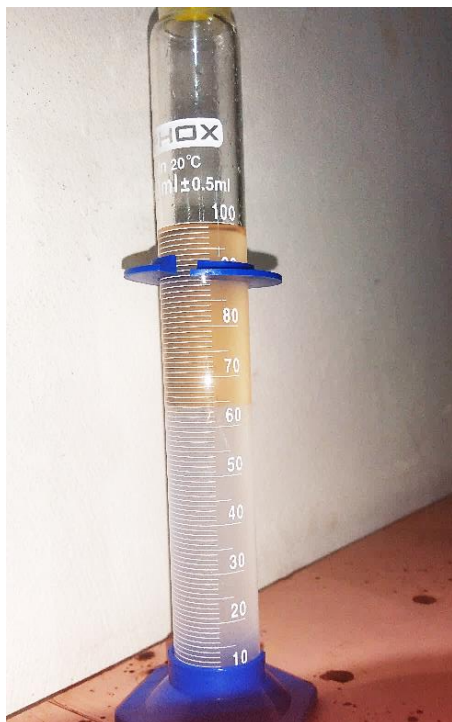
### 4.1 PERCENTUAL DE ETANOL

Para descobrir o percentual de etanol na gasolina basta fazer o teste da proveta.

Com o teste da proveta, Figura 35, verificou-se que o percentual de etanol na gasolina estava de acordo com a legislação, conforme equação (5).

$$\% \text{Etanol} = \frac{50 - 36}{50} * 100 = 28\% \quad (5)$$

Figura 35 – Teste de Proveta



Fonte: Elaboração do autor.

Os demais resultados são apresentados em duas etapas:

- As análises feitas nas amostras de lubrificante que foi utilizado no motor quando utilizou gasolina com querosene com contaminações de 1 a 8%;
- As análises feitas quando o motor foi abastecido com gasolina contaminada com querosene, etanol e thinner com contaminações de 5 a 20%.

## 4.2 VELA DE IGNIÇÃO

De acordo com o manual do proprietário da Honda (2015), a vela deve ser trocada a cada 300 h, mas visando uma redução de gastos, esta pode ser retirada, limpa e verificar a distância entre os eletrodos, e caso esta distância esteja superior a 0,8 mm, faz-se um ajuste, entortando um pouco o eletrodo central.

Neste teste, não foi necessário este ajuste, apenas a limpeza. Conforme mostrado na Figura 36 - (a) a vela estava bastante carbonizada. A Figura 36 - (b) mostra a vela depois de limpa e pronta para ser montada novamente.

Figura 36 – Vela de ignição do motor



Fonte: Elaboração do autor.

Antes de retirar a vela para esta verificação e limpeza, o motor apresentava uma pequena dificuldade de iniciar o funcionamento, problema que foi resolvido com esta manutenção.

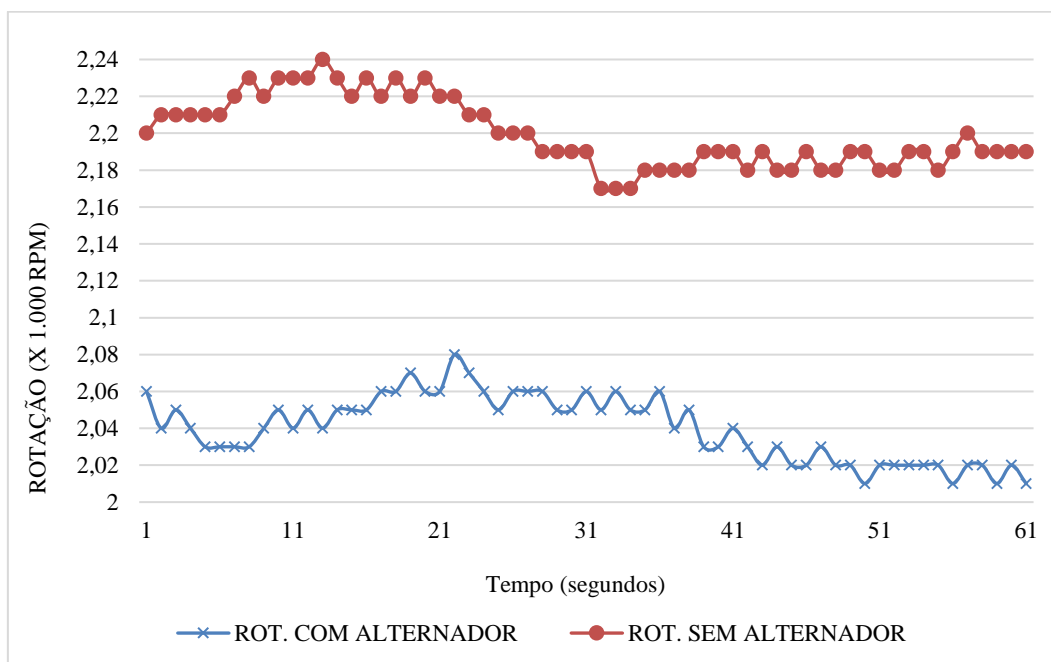
### 4.3 ROTAÇÃO COM E SEM O ALTERNADOR

Durante os testes surgiu uma dúvida: Será que o alternador está fazendo sua função de simular uma carga de trabalho neste motor?

Para esclarecer esta dúvida e ter a certeza que o motor estava trabalhando com uma carga diferente de seu trabalho em vazio, foi feito um teste de rotação com e sem o alternador, ou seja, colocou-se o motor para trabalhar sem estar acoplado ao alternador, livre e depois montou-se a correia acoplado o alternador e se repetiu os testes.

O gráfico mostrado na Figura 37 apresenta os dados obtidos nas duas situações.

Figura 37 – Rotação do motor com e sem ligar ao alternador



Fonte: Elaboração do autor (2017).

Feito o teste, foi possível verificar que o alternador estava fazendo o seu papel, mesmo que a carga não fosse muito grande, mas estava sim pesando um pouco para o motor.

Fazendo uma analogia com os motoristas atuais, pode-se dizer que este alternador estava para o motor, como um motorista que anda sem forçar muito o equipamento, sem atingir altas rotações e acelerações bruscas, até mesmo porque este tipo de condução torna o motor mais econômico.

Assim é possível verificar que a rotação deu uma diferença entre com e sem carga de 160 rpm, tanto entre as médias, máximos e mínimos apresentados no gráfico.

#### 4.4 GASOLINA COM QUEROSENE – 1% A 8%

Os resultados apresentados a seguir estão na forma de gráficos e no eixo horizontal estão os dados da contaminação, em forma abreviada, que significa:

ON – Óleo novo sem uso

G0 – gasolina sem contaminantes;

Q1 – gasolina com 1% de querosene;

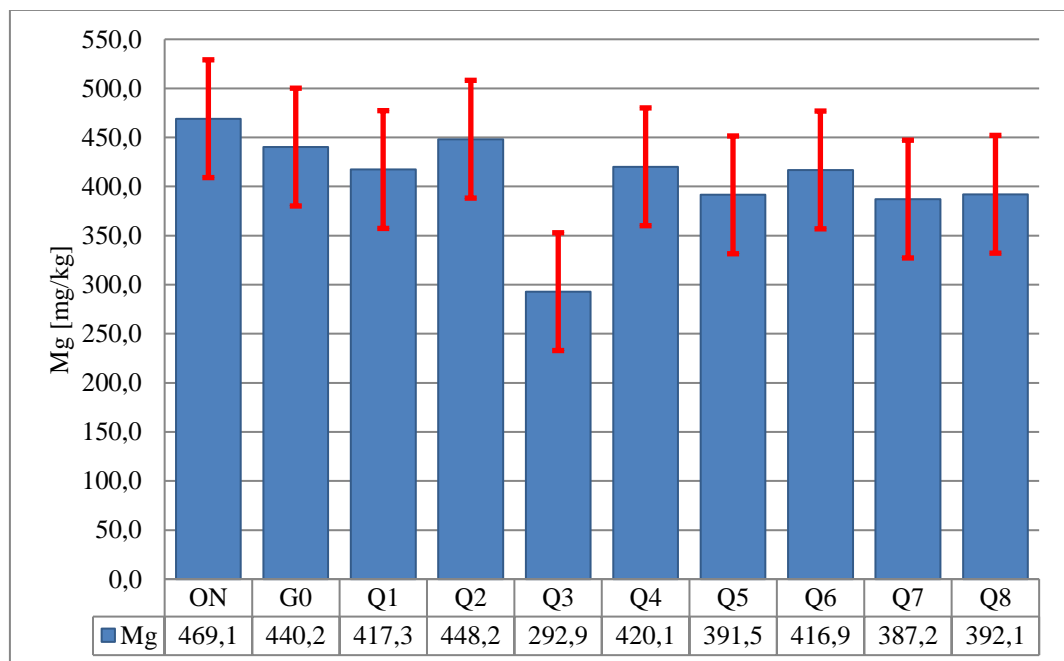
Q2 – gasolina com 2% de querosene;

- Q3 – gasolina com 3% de querosene;  
 Q4 – gasolina com 4% de querosene;  
 Q5 – gasolina com 5% de querosene;  
 Q6 – gasolina com 6% de querosene;  
 Q7 – gasolina com 7% de querosene;  
 Q8 – gasolina com 8% de querosene.

#### 4.4.1 Espectrômetro de raios X

O magnésio apresenta a função de detergente e dispersante. A Figura 38 mostra o gráfico do magnésio.

Figura 38 – Detergente e dispersante – Magnésio



Fonte: Elaboração do autor (2016)

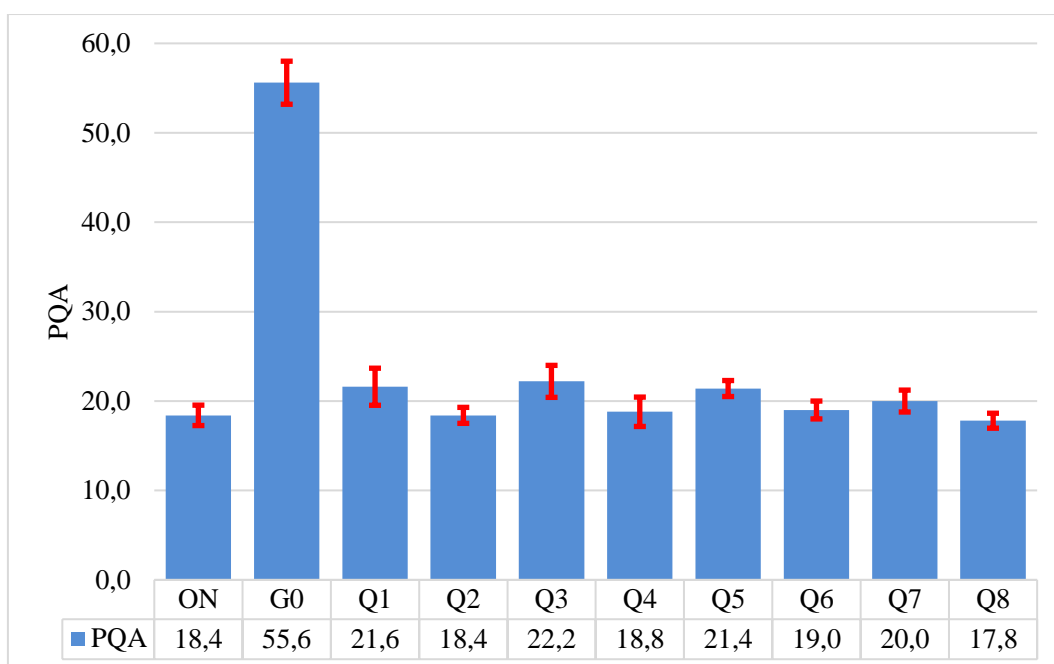
Quanto ao consumo do magnésio, foi observado que com 3% de querosene houve uma queda, mas levando em conta as demais medidas e o desvio padrão, os valores ficaram muito próximos.

#### 4.4.2 Contagem de partículas – PQA

Esta análise não deveria apresentar nenhuma partícula no óleo novo (sem uso), mas é comum isto acontecer e a explicação para estas partículas está no processo de fabricação do lubrificante.

A Figura 39 mostra os valores de partículas encontrados na análise.

Figura 39 – PQA – Gasolina com Querosene ( 1% a 8%)



Fonte: Elaboração do autor (2016)

A gasolina sem contaminante apresentou uma quantidade de partículas maior que os demais combustíveis. A explicação para este valor alto na gasolina limpa está relacionada ao motor ser novo e ainda apresentar partículas provenientes de acomodação de seus elementos internos, mesmo tendo sido feito o processo de amaciamento conforme manda o fabricante.

#### 4.5 CONTAMINAÇÃO COM 5%, 10%, 15% E 20%

Para estes percentuais de contaminação, foram feitas as análises de rotação do motor, PQA, viscosidade, espectrômetro de raios X e infravermelho.

Os contaminantes utilizados nesta etapa foram o querosene, etanol e thinner.

Os resultados apresentados a seguir estão na forma de gráficos e no eixo horizontal estão dos dados da contaminação, em forma abreviada, que significa:

ON – Óleo novo sem uso;

G0 – Gasolina sem contaminante;

Q5 – Gasolina com 5% de querosene;

Q10 – Gasolina com 10% de querosene;

Q15 – Gasolina com 15% de querosene;

Q20 – Gasolina com 20% de querosene;

E5 – Gasolina com 5% de etanol;

E10 – Gasolina com 10% de etanol;

E15 – Gasolina com 15% de etanol;

E20 – Gasolina com 20% de etanol;

T5 – Gasolina com 5% de thinner;

T10 – Gasolina com 10% de thinner;

T15 – Gasolina com 15% de thinner;

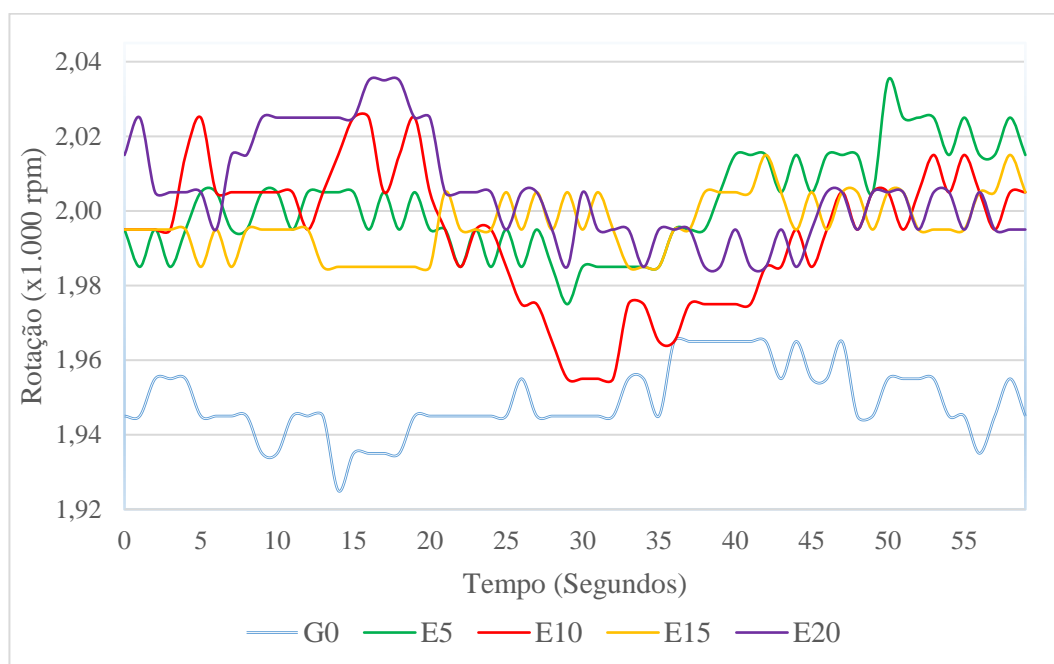
T20 – Gasolina com 20% de thinner.

#### **4.5.1 Rotações do motor**

A Figura 40 mostra o comportamento da rotação do motor quando foi colocado em funcionamento com gasolina adulterada com etanol.



Figura 40 – Rotação com contaminação por etanol



Fonte: Elaboração do autor.

A rotação do motor utilizando gasolina contaminada com etanol, apresentou o mesmo comportamento de um motor de um carro bicomcombustível, à medida que o percentual de etanol aumentava a rotação aumentava também, proporcionando ao motor uma maior potência. Assim, o motor se comportou conforme se esperava.

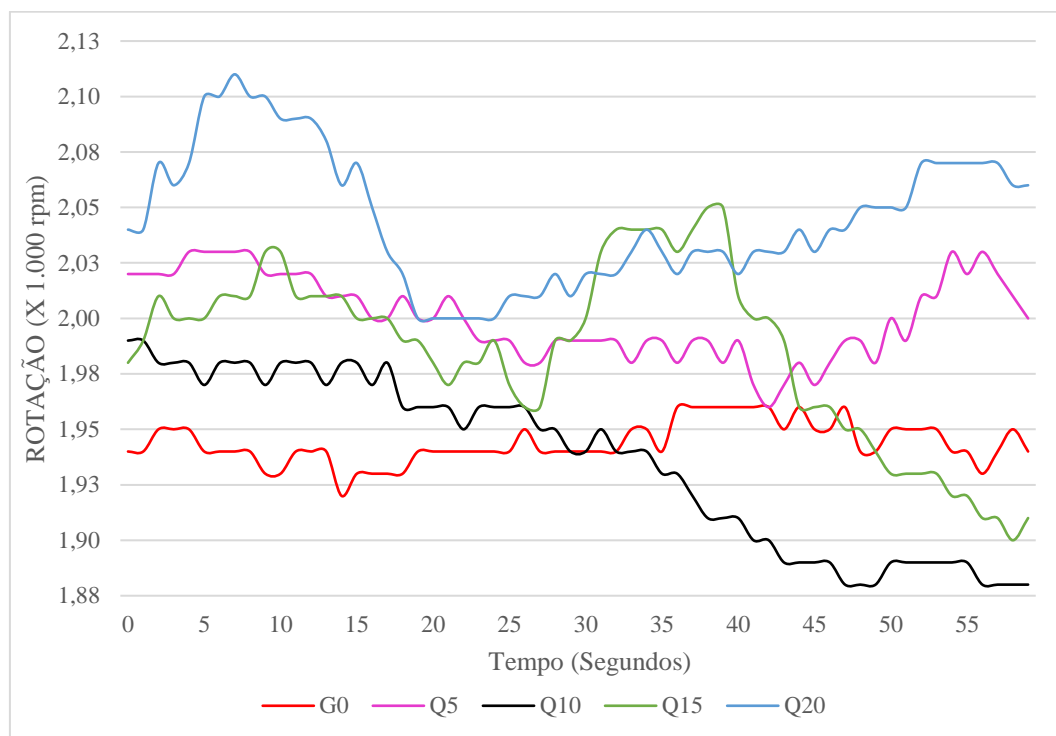
A rotação do motor quando abastecido com etanol, apresentou picos e vales bem acentuados, que podem ser explicados pela utilização de uma vela para motor a gasolina que não consegue gerar uma boa queima de um percentual de etanol tão alto.

O etanol faz com que a mistura fique mais fria e assim necessita de uma vela de ignição própria para esta situação.

Outra característica da mistura ser fria é que quando é injetada no motor, ela entra em contato com o ar da admissão e o resfria e assim aumenta a densidade da mistura ar combustível, logo haverá uma massa maior de combustível, fazendo assim com que o motor tenha mais potência.

A Figura 41 mostra o gráfico da rotação do motor quando abastecido com gasolina adulterada com querosene

Figura 41 – Rotação com contaminação por querosene



Fonte: Elaboração do autor.

Com este tipo de contaminante, pode-se perceber com facilidade que a rotação do motor abastecido com gasolina limpa tem um comportamento bastante regular, as variações apresentadas estão dentro da variação de rotação aceitável para este tipo de motor. Quando o motor é abastecido com querosene, é possível verificar que o motor começa a falhar, que no gráfico é representado pelas alterações na rotação, momentos de picos acentuados seguidos por vales profundos em comparação com a gasolina.

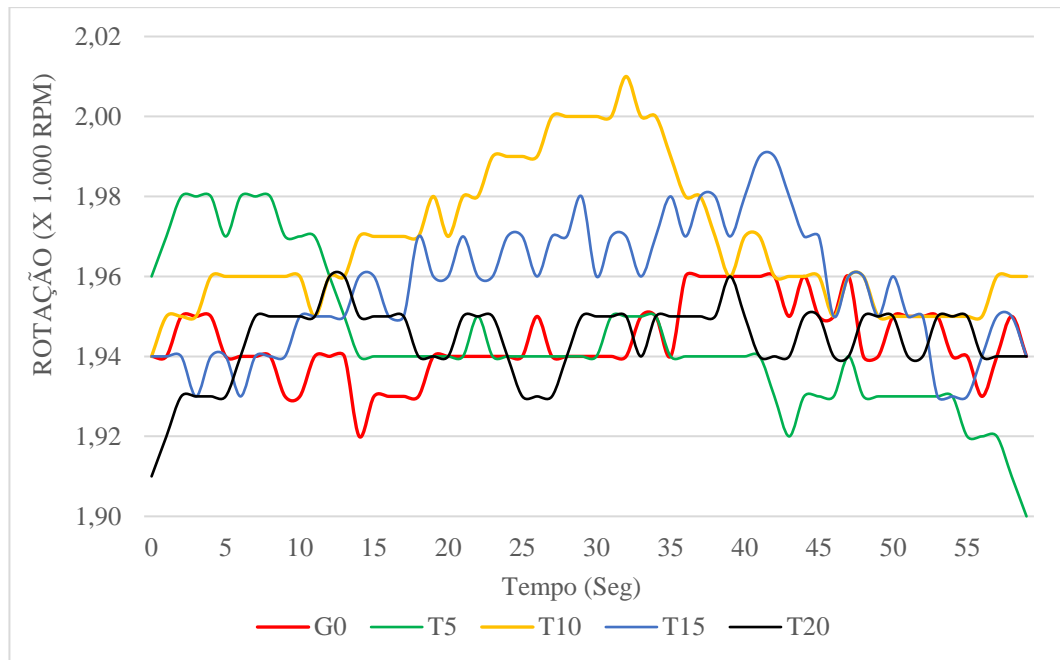
Este comportamento do motor vai de encontro com o que a literatura relata, em relação ao comportamento de um motor utilizando gasolina adulterada com querosene, que apresenta falhas de aceleração, que os técnicos chamam de “buracos” de aceleração, que é quando o motor falha (FOGAÇA, 2011).

Estes buracos podem também ser explicados pela octanagem do querosene, que é da ordem de 15 a 25 octanas, que faz com que a octanagem da gasolina caia bastante, chegando a quase bater pinos em alguns momentos.

Com este contaminante, o motor tenta trabalhar na rotação da gasolina limpa, mas o poder calorífico da mistura não permite. Analisando o gráfico, pode-se perceber que em algum momento as linhas das misturas, em todos os percentuais, cruzam a linha que representa a gasolina limpa, mas não conseguem se estabilizar.

A Figura 42 mostra o gráfico das rotações do motor quando abastecido com gasolina adulterada por thinner.

Figura 42 – Rotação com contaminação por thinner



Fonte: Elaboração do autor.

Este contaminante foi o mais problemático para o motor que ficou com um funcionamento bastante diferente, principalmente quando se utilizou a gasolina com 20% de thinner, momento que o motor falhava bastante. Este comportamento foi observado com mais nitidez quando o motor ainda estava frio, pois após seu aquecimento o calor auxiliava a queima da mistura.

Pelo gráfico é possível verificar que com percentuais mais baixos, 5%, 10% e 15%, a rotação do motor oscilou bastante, ficando bastante parecido com o do querosene, com altos e baixos bem definidos.

A diferença que ficou clara nos gráficos é que com o querosene, a rotação subiu um pouco o que não ocorreu com o thinner, onde as rotações ficaram bem próximas da rotação da gasolina limpa, só que com a rotação oscilando bastante.

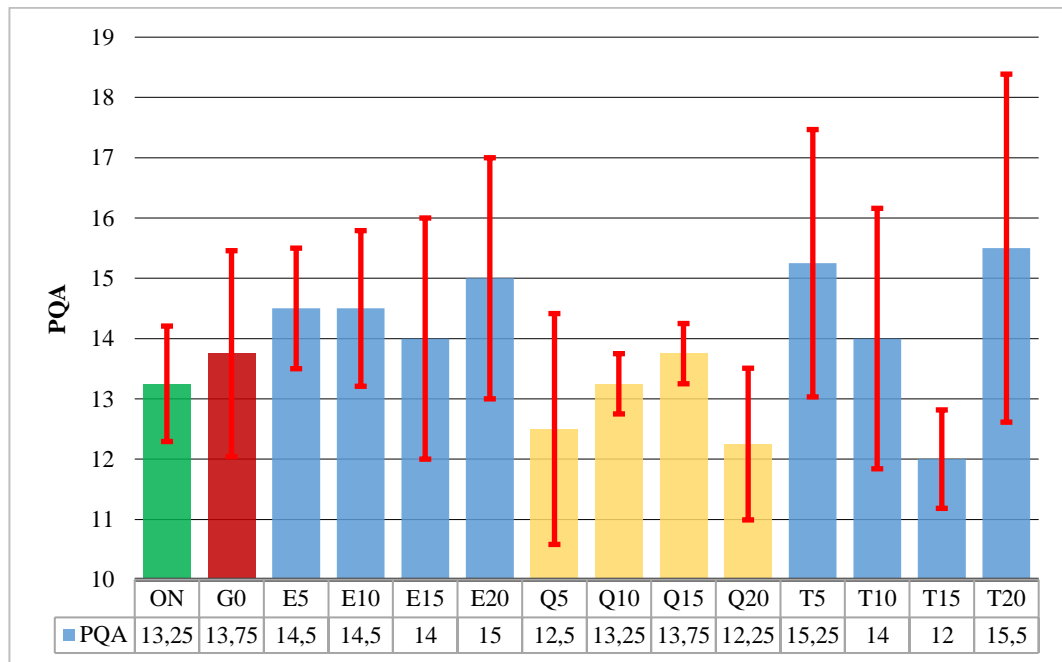
Quando abastecido com thinner 20%, a rotação não subiu e ficou no mesmo patamar da gasolina limpa, no entanto, os altos e baixos da rotação pesaram muito no motor. O gráfico não faz jus ao funcionamento real do motor. Com este percentual o motor falhava bastante e em alguns momentos parecia que ia desligar.

### 4.5.2 Contagem de partículas – PQA

Esta análise apresenta um resultado quantitativo e não qualitativo.

A Figura 43 mostra os valores encontrados para todos os contaminantes em todas as proporções.

Figura 43 – Contagem de partículas



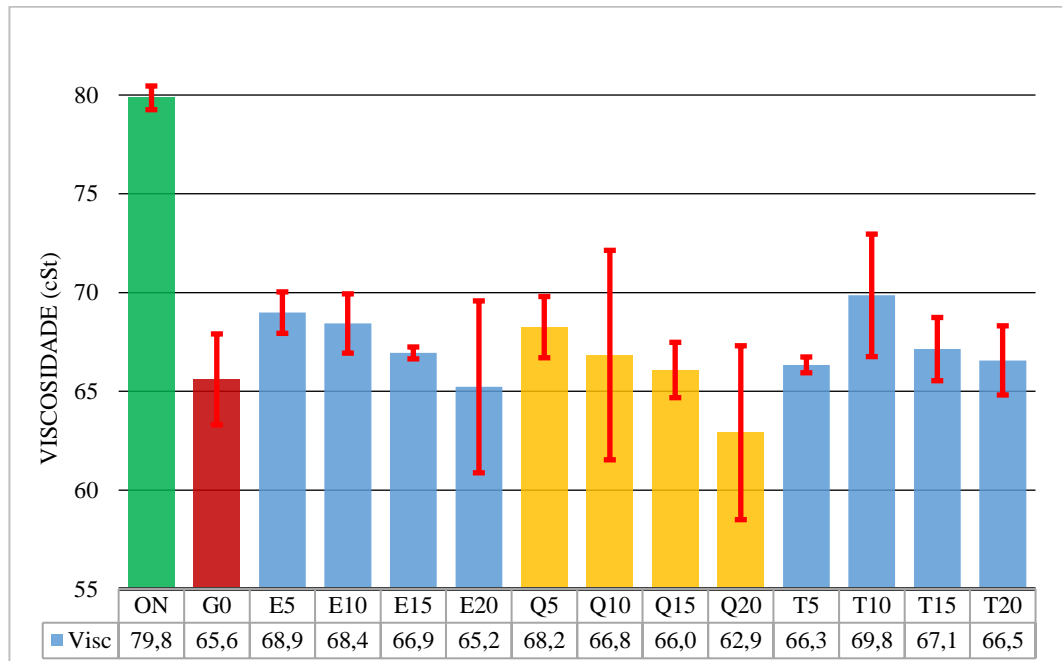
Fonte: Elaboração do autor.

Não há uma variação significativa nos valores apresentados, uma vez que estas quantidades não representam um valor de desgaste preocupante. Valores significativos que requerem uma atenção, devem estar na casa de 60.

### 4.5.3 Viscosidade

Para este teste a referência foi a viscosidade do lubrificante utilizado com gasolina limpa, uma vez que esta está dentro do recomendado pelo fabricante, pois a troca foi dentro do especificado. E de acordo com o esperado, com base em históricos de outras análises semelhantes, a viscosidade não apresentou uma grande variação, ou seja, o resultado foi o esperado, conforme é mostrado na Figura 44.

Figura 44 – Viscosidade



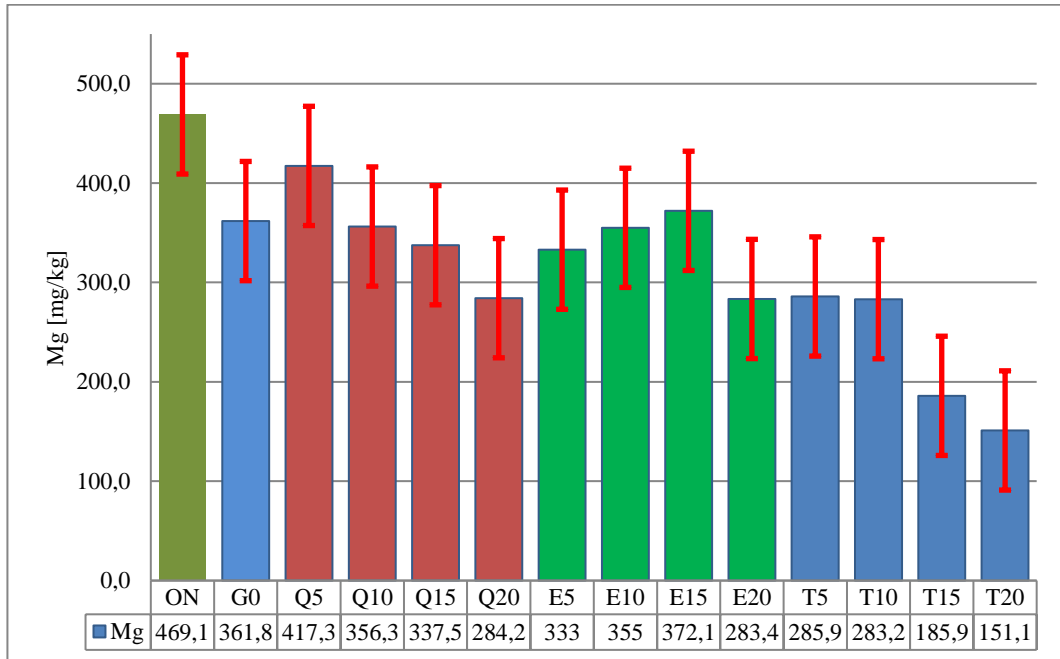
Fonte: Elaboração do autor (2016)

A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com a gasolina adulterada, causou a diminuição da viscosidade do lubrificante.

#### 4.5.4 Espectrômetro de Raios X

O primeiro elemento analisado pelo espectrômetro de raios X foi o Magnésio, e o seu gráfico é mostrado na Figura 45.

Figura 45 – Detergente e dispersante – Magnésio



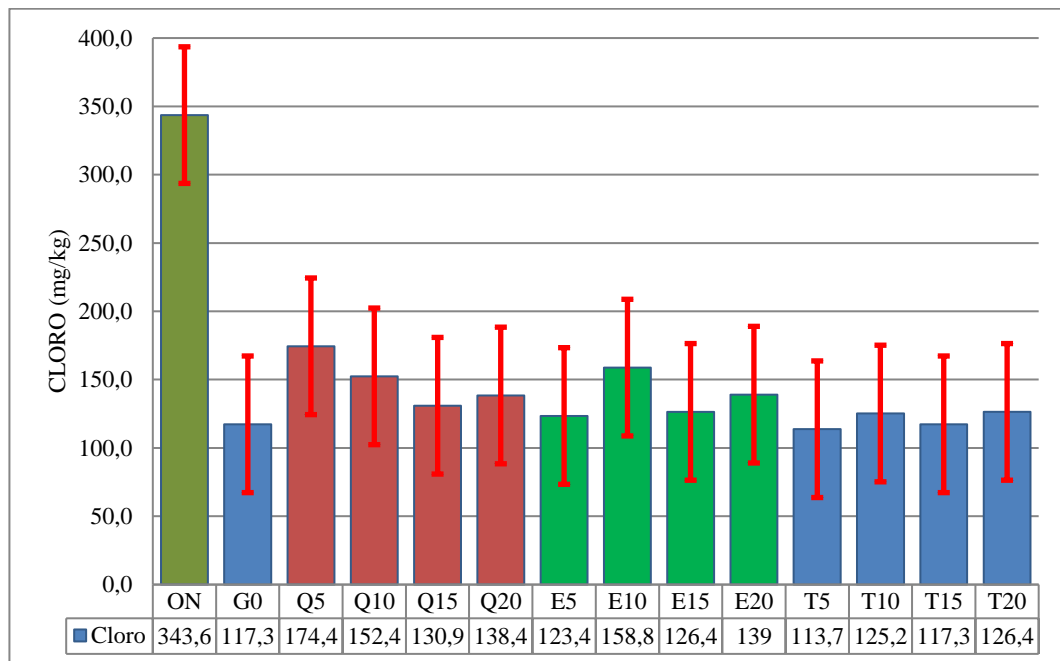
Fonte: Elaboração do autor.

O magnésio apresentou queda com todos os contaminantes, mas com o thinner esta queda foi mais acentuada, o que permite dizer que a limpeza do motor ficou prejudicada com esta substância, pois o magnésio caiu para valores bastante baixos, principalmente com thinner 20%.

A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a diminuição do aditivo contendo magnésio.

O próximo elemento analisado é o Cloro, e seu gráfico é mostrado na Figura 46.

Figura 46 – Extrema pressão (EP) – Cloro



Fonte: Elaboração do autor.

O Cloro é responsável por garantir que sempre tenha uma película de lubrificante entre as partes metálicas, por isso chamado de aditivo de extrema pressão, que significa que mesmo sob uma carga muito alta mantém as partes lubrificadas.

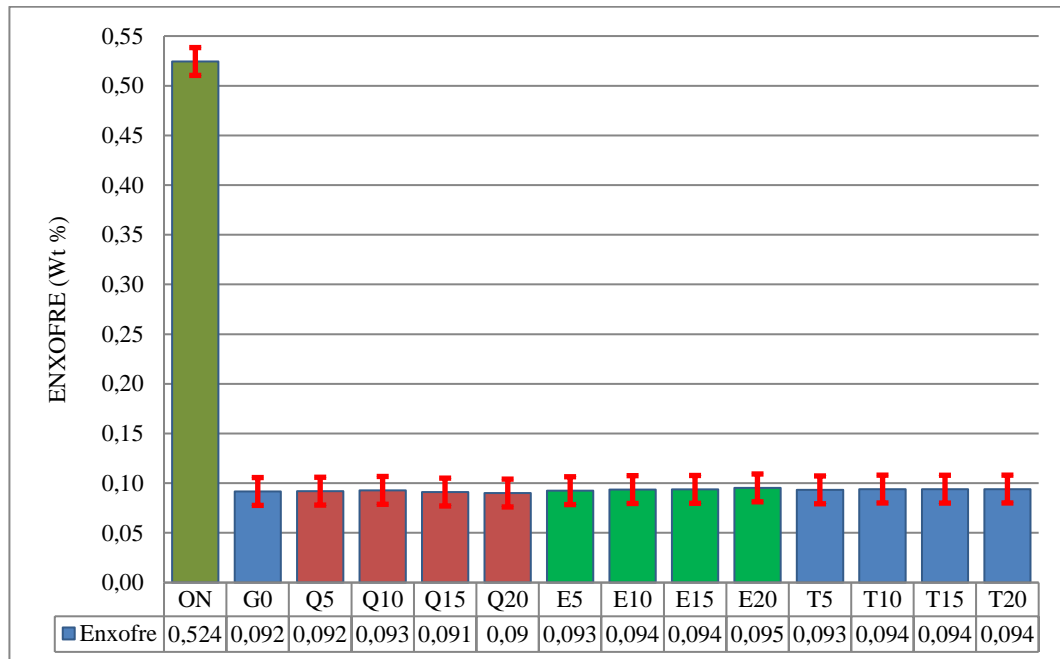
Já o seu excesso também não é benéfico, uma vez que pode contribuir para a corrosão dos elementos.

Considerando o desvio padrão e as próprias medidas, este aditivo não sofreu uma queda muito grande, ficando dentro da normalidade em todos os contaminantes.

A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a diminuição do aditivo contendo cloro.

Outro aditivo que é responsável pela EP é o Enxofre e seu gráfico é mostrado na Figura 47.

Figura 47 – Extrema pressão (EP) – Enxofre



Fonte: Elaboração do autor.

Assim como o Cloro, o Enxofre tem a mesma função de extrema pressão e também seu excesso pode causar problemas de corrosão. Este aditivo apresentou um consumo muito parecido para todos os contaminantes.

A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a diminuição do aditivo contendo enxofre.

#### 4.5.5 Infravermelho

Para esta análise não foi necessária uma grande quantidade de lubrificante para o teste. É um teste onde foi analisada a quantidade de água, oxidação, sulfatação, antidesgaste, nitretação e TBN.

##### 4.5.5.1 Oxidação

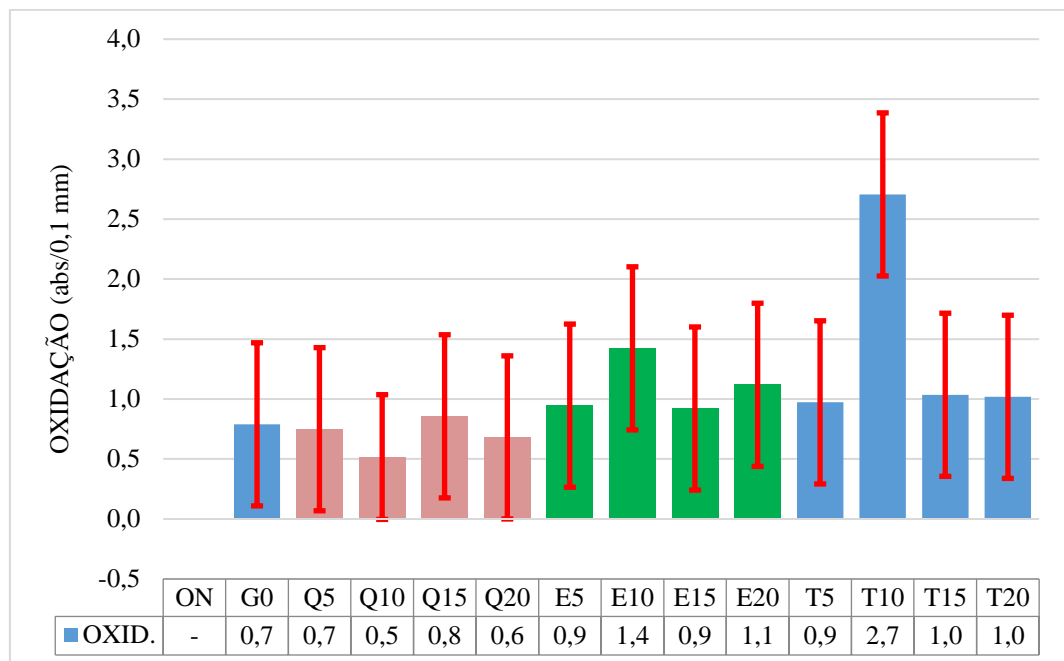
A oxidação em um motor gera borras, lacas, resinas, fuligem, etc., todos produtos que são extremamente prejudiciais ao motor.



A borra é parecida com uma nata preta que pode entupir os dutos onde o lubrificante circula para lubrificar o motor. Devido a sua consistência, dificulta o movimento das peças internas do motor, fazendo com que ele perca rendimento.

A Figura 48 apresenta o gráfico de oxidação para todos os contaminantes em todos os percentuais.

Figura 48 – Oxidação



Fonte: Elaboração do autor.

A oxidação gerada com todos os combustíveis, com exceção do thinner 10%, estão dentro do mesmo patamar, podendo dizer que está dentro do normal. O etanol 10% está um pouco elevado, mas considerando o desvio padrão está dentro dos valores encontrados nos demais combustíveis.

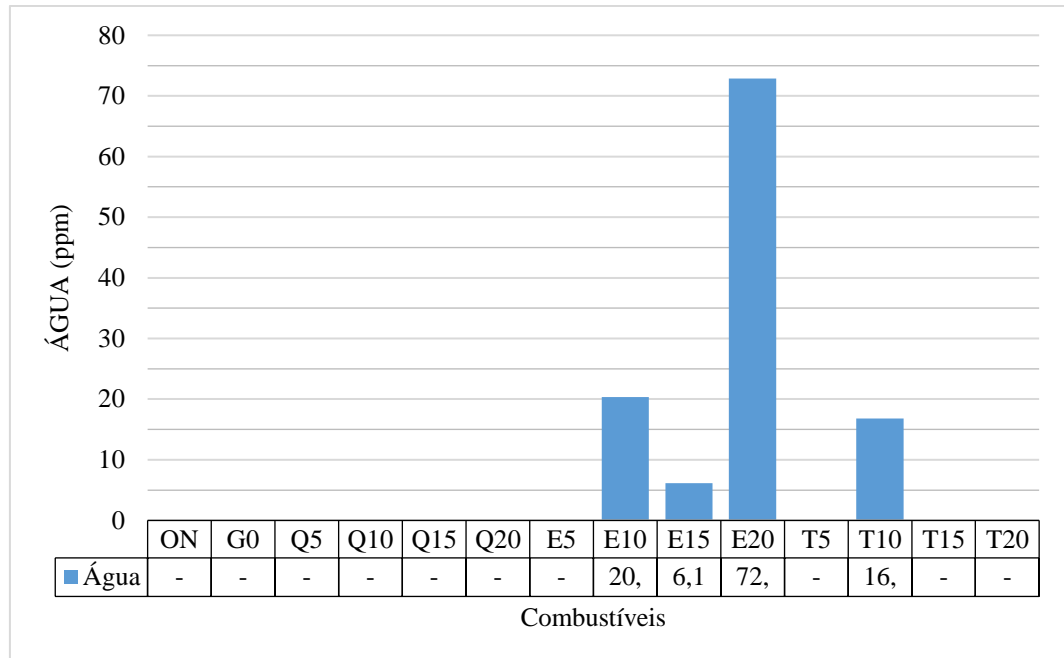
A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a oxidação do lubrificante.

#### 4.5.5.2 Água

A presença de água no lubrificante deve ser evitada, pois a mesma contribui para a oxidação das partes metálicas.

A Figura 49 mostra os resultados para a análise de água no lubrificante.

Figura 49 – Quantidade de Água



Fonte: Elaboração do autor.

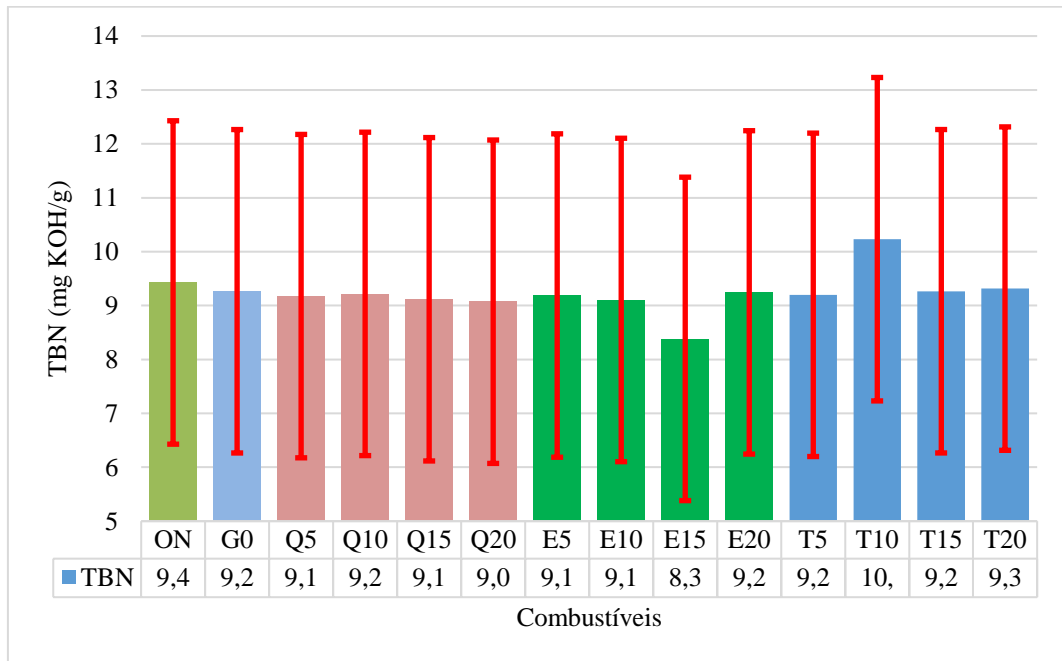
Em relação a água presente nas amostras, o esperado era que com etanol apresentasse mais água que os demais contaminantes. Quando foi feita a análise de etanol 5%, praticamente não apareceu água, isto pode ser explicado pelo fato de que o percentual de etanol total na mistura quando acrescido de 5% fica muito próximo do percentual regulamentado. Por exemplo, se a gasolina apresentar 74% de gasolina com 26% de etanol, de acordo com a regulamentação da ANP, este combustível atende as normas. Assim, utilizando esta mistura como referência, ao adicionar 5% de etanol, a mistura se altera para 70% de gasolina com 30% de etanol, sendo apenas 2% acima do regulamentado. Desta forma, o resultado deveria mesmo ficar muito próximo ao encontrado para a gasolina.

#### 4.5.5.3 TBN

O TBN indica o quanto se tem de reserva alcalina para combater a oxidação gerada pelos ácidos gerados com a combustão.

A Figura 50 apresenta o gráfico do TBN para todos os percentuais de contaminação.

Figura 50 – TBN



Fonte: Elaboração do autor.

O TBN não apresentou variações significativas para nenhum dos contaminantes,

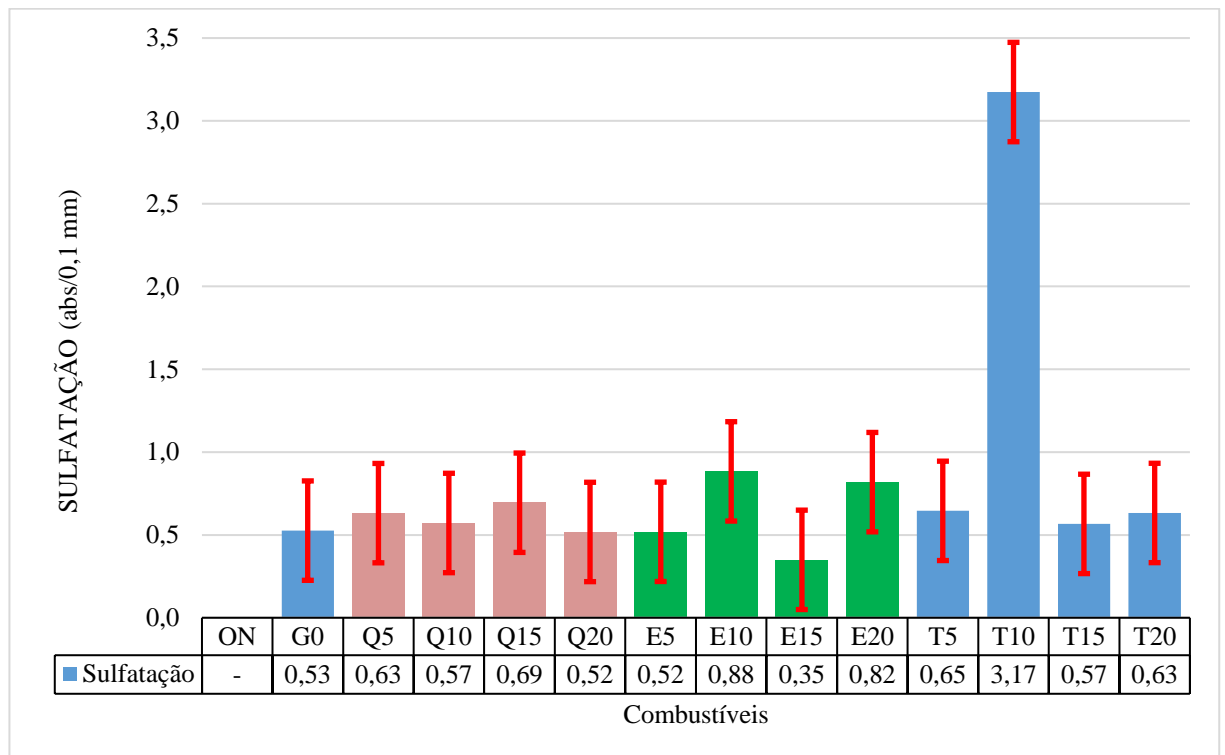
A alteração mais significativa foi com o etanol 15% e thinner 10%, mas levando em consideração o desvio padrão e os valores encontrados para cada contaminante, o TBN não sofreu uma alteração que pudesse prejudicar o motor.

#### 4.5.5.4 Sulfatação

A sulfatação mostra o grau de formação de ácidos que o lubrificante apresenta no momento da medição.

A Figura 51 mostra o resultado de sulfatação para todas as amostras.

Figura 51 – Sulfatação



Fonte: Elaboração do autor.

Somente a amostra de thinner 10% apresentou uma alta sulfatação em relação ao restante.

A sulfatação é indesejável, seja em qual nível de evolução ela estiver. Começa consumindo os aditivos dos lubrificantes e em seguida começa a corroer quimicamente o interior dos equipamentos em toda a superfície que o lubrificante tiver contato.

A sulfatação é gerada pelo lubrificante ao longo de sua vida útil, quando se torna mais ácido devido aos óxidos de enxofre e água que se combinam com grande facilidade gerando ácidos a base de enxofre.

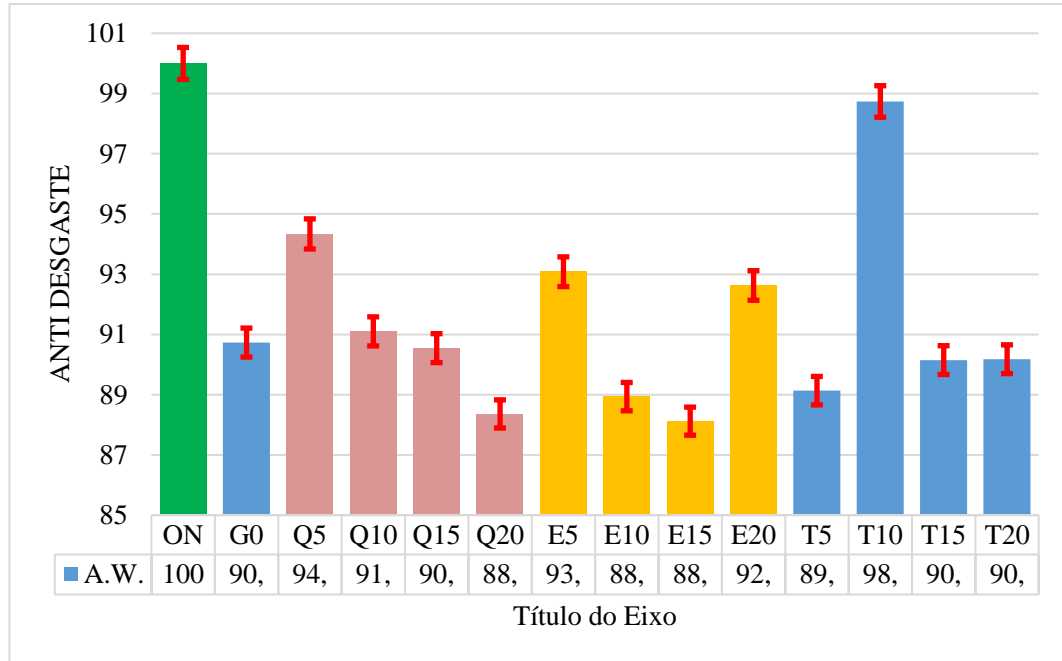
A utilização do motor, tanto com a gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a sulfatação do lubrificante.

#### 4.5.5.5 Antidesgaste

Este aditivo é responsável por evitar o desgaste prematuro devido a um contato de metal com metal.

A Figura 52 apresenta o gráfico com os resultados deste aditivo.

Figura 52 – Antidesgaste



Fonte: Elaboração do autor

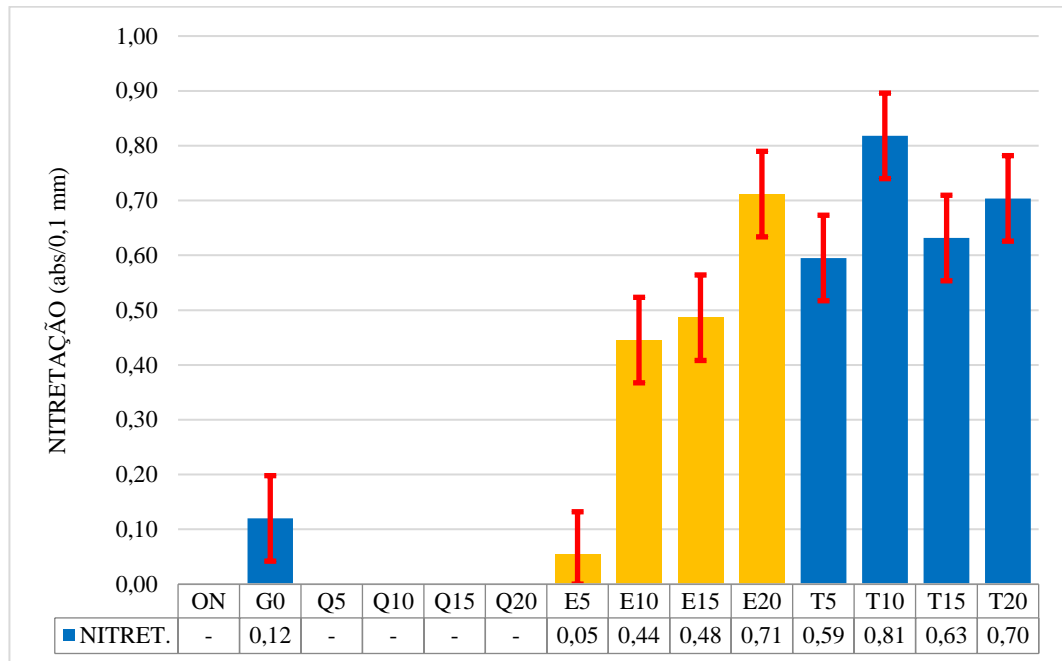
De acordo com a figura é possível verificar que a utilização do motor, tanto com gasolina sem contaminante como com gasolina adulterada, causou a redução do aditivo antidesgaste.

#### 4.5.5.6 Nitretação

Esta análise reflete as condições de combinação do Nitrogênio com o Oxigênio do ar no interior do motor, quando sujeito a altas temperaturas e pressão.

Este efeito está diretamente ligado aos fenômenos da oxidação. A Figura 53 apresenta o gráfico com os dados obtidos na análise.

Figura 53 – Nitretação



Fonte: Elaboração do autor.

O uso do motor utilizando gasolina sem contaminante e com gasolina contaminada com etanol e thinner aumentaram a nitretação.

## 5 CONCLUSÃO

Diante das análises, este trabalho mostrou que as contaminações da gasolina, apresentaram resultados ruins no funcionamento do motor.

A análise de viscosidade mostrou que com todos os combustíveis houve uma redução da viscosidade, mas todas estão em um patamar bem próximo.

A análise de PQA mostrou uma variação de partículas pouco expressivas, podendo afirmar que, levando em conta o desvio padrão e os valores encontrados, os resultados estão bem próximos.

A análise de consumo se mostrou não conclusiva, devido a precisão do relógio e também a carga a qual o motor estava submetido.

A vela de ignição apresentou uma carbonização acima do normal, apesar de ter funcionado mais tempo do que o recomendado pelo manual. Mas foi feita uma limpeza e verificou-se que seu eletrodo não estava muito desgastado. Assim a vela ainda estava em condições de uso.

As análises de rotação apresentaram resultados claros e dentro do que a literatura sugere. Foram verificadas alterações significativas na rotação do motor com todos os contaminantes e dentro do esperado. Com etanol a rotação aumentou e com querosene e thinner o motor apresentou um funcionamento irregular e com muitas falhas, comportamento ruim para o motor que perde potência e aumenta o consumo.

Nas análises do espectrômetro de raios X, foi possível verificar as alterações nas quantidades dos principais elementos químicos responsáveis pela preservação do motor. Os elementos responsáveis pela proteção ao desgaste, oxidação, extrema pressão sofreram uma alteração em suas concentrações bastante significativas. O que sugere que, além do funcionamento do motor ficar muito ruim, as propriedades do lubrificante também ficam comprometidas quando se utiliza um combustível adulterado.

A viscosidade foi alterada, conforme a Figura 44. Os testes representam 52.000 km rodados. Um motor de moto semelhante ao utilizado, se for bem cuidado, com manutenções feitas nos momentos corretos, conforme orientação do manual do proprietário, terá uma vida útil entre 80.000 a 100.000 km, em alguns casos podem atingir uma quilometragem um pouco maior, mas estaria fora da média de vida útil de motores.

Esta contaminação terá grandes efeitos na vida útil deste motor, podendo diminuí-la consideravelmente com a constante adulteração do combustível.

Enfim, como conclusão final, a adulteração do combustível não só apresenta danos de funcionamento ao motor como também danos aos elementos responsáveis por manter a vida útil do equipamento. Isto é verificado pela variação expressa na oxidação, nitretação, sulfatação e antidesgaste.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aumentar a carga no motor, aumentar o tempo de funcionamento e com um sistema mais preciso de medir tempo, verificar as alterações no consumo do motor com os contaminantes;
- Aumentar a carga do motor, e verificar o comportamento de sua rotação. Uma sugestão de aumento de carga é conectar o motor a um gerador de energia elétrica e ligar uma série de lâmpadas;
- Para se medir o quanto a contaminação desgasta o motor, refazer os testes com pelo menos três motores e cada um utilizando um tipo de contaminante e fazer as análises de partículas e elementos ferrosos presentes no lubrificante;
- Utilizar um sensor que mede os poluentes na fumaça expelida pelo motor e verificar o quanto este motor polui mais utilizando gasolina adulterada.
- Fazer o acompanhamento da vela de ignição ao fim de cada ciclo, retirar e verificar o quanto está suja, limpar e fazer o novo ciclo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R. Classificação dos lubrificantes. Moto student, 2015. Disponível em: <<http://motostudent.com.br/classificacao-dos-lubrificantes/>>. Acesso em: 15 ago 2016.
- ANALÍTICA, S. Micro titulador. Sciunic Analítica, 2016. Disponível em: <<http://www.sciunic.com.br/tantbn.html>>. Acesso em: 10 ago 2016.
- ANP. **Resolução ANP N° 9, DE 7.3.2007 – DOU 8.3.2007 – Retificada DOU 9.3.2007.** Brasília, DF, 2007. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2007/mar%C3%A7o/ranp%209%20-%202007.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=\\$nc=2623](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2007/mar%C3%A7o/ranp%209%20-%202007.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=$nc=2623)>. Acesso em: 05 jul 2016.
- ANP. **Glossário**, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=582#c>>. Acesso em: 07 abr 2016.
- ANP. **Preços de produtores e importadores de derivados de petróleo**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores>>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- ANP, .-. ANP. **PMQC - boletim de monitoramento da qualidade dos combustíveis**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=79489&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1458065361118>>. Acesso em: 15 mar 2016.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, , 2015a. v. 1.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. 3. ed. São Paulo: Blucher, , 2015b. v. 2.
- CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência: 2006.
- CUERVA, M. P. **Análise da influência da contaminação do lubrificante por biodiesel em um equipamento Pin-On-Disk**. 2013. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2013.
- FERNANDES, F. R. **Ensaio com amostras de óleos lubrificantes, como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de novos motores de combustão interna: revisão sistemática da literatura**. 2012. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Automotiva) - Escola de Engenharia - Centro.
- FOGAÇA, J. R. V. **Adulteração da gasolina**. Goiânia: Alunos on-line - Química, 2011. Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/quimica/adulteracao-gasolina.html>>. Acesso em: 8 out 2016.
- HONDA, P. D. F. **Motores estacionários GX 120/160/200: manual do proprietário**. São Paulo: [s.n.], 2015.

JUNIOR, A. A. D. S. **Determinação de parâmetros de óleos lubrificantes de motores de ciclo Otto e ciclo Diesel através da Espectroscopia no Infravermelho: métodos multivariados e cartas de controle.** 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de Brasília. Brasília - UNB, Brasília - DF, 2011.

KIMURA, R. K. **Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante.** 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2010.

LAGO, D. F. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante.** 2007. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2007.

LEÃO, R. M. **Álcool energia verde.** São Paulo: Iqual, 2002.

MALPICA, L. G. T. **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes.** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2007.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna.** 4. ed. Porto: Publindústria, 2015.

NORQUIMA, P. Q. **Boletim técnico:** aguarras. Indaiatuba, Norquima Produtos Químicos, 2010. Disponível em: <[www.norquima.com.br](http://www.norquima.com.br)>. Acesso em: 07 mar 2016.

PAIVA, R. **Expresso Almaq:** aditivos. Belo Horizonte, Almaq Santana, 2015. Disponível em: <[http://almaq santanna.com.br/images/expresso/003\\_aditivos\(1\).pdf](http://almaq santanna.com.br/images/expresso/003_aditivos(1).pdf)>. Acesso em: 10 out 2016.

PASSOS, R. **27% de Etanol na gasolina:** quais os efeitos para nossos motores. [S.I.]. Flat Out, 2015. Disponível em: <[https://www.flatout.com.br/27%\\_de\\_etanol\\_na\\_gasolina\\_quais\\_os\\_efeitos\\_para\\_os\\_nossos\\_motores](https://www.flatout.com.br/27%_de_etanol_na_gasolina_quais_os_efeitos_para_os_nossos_motores)>. Acesso em: 21 dez 2016.

PETROBRÁS. **De olho no combustível:** adulteração da gasolina. Rio de Janeiro, [201-]b. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/deolhonocombustivel>>. Acesso em: 20 nov 2015.

PETROBRÁS. **Lubrificantes:** fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: [s.n.], 1999.

PETROBRÁS. **Etanol.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/etanol/>>. Acesso em: 30 mar 2016.

PETROBRÁS. **Óleo diesel,** Rio de Janeiro, 2013a. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/oleo-diesel/>>. Acesso em: 30 mar 2016.

PETROBRÁS. **Saiba porque a gasolina comercializada nos postos contém etanol.** Rio de Janeiro, 2013b. Disponível em: <<http://fatosedados.blogspot.com.br/2013/02/17/saiba-por-que-a-gasolina-comercializada-nos-postos-contem-etanol/>>. Acesso em: 18 mar 2016.

PETROBRÁS. **Gasolina**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:  
<<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/gasolina/>>.  
Acesso em: 30 mar 2016.

PETROBRÁS. **Dúvidas frequentes**. Rio de Janeiro, 2015a. Disponível em:  
<[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/gasolina!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N\\_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ4MgQ\\_2CbEdFAGTIIInk!/?PC\\_7\\_9O1ONKG10GSIC025HDRRAB10F4000000\\_WCM\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/p](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/gasolina!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ4MgQ_2CbEdFAGTIIInk!/?PC_7_9O1ONKG10GSIC025HDRRAB10F4000000_WCM_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/p)>. Acesso em: 18 mar 2016.

PETROBRÁS. **Legislação vingente**, Rio de Janeiro, 2015b. Disponível em:  
<[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/etanol!/ut/p/c5/pY\\_LcoIwAEW\\_pR\\_AhICCLokBYITeFpMNQzVmQJQyVKB8fbPsptPpdO7y3LM4gAO1RzIUsvyo2kfZgBPgVrEOYRjsfKj76XajG0uCk8RBUPdsxdnPPDH-YyPzT3Yybl3Fddclpq3uv9kUcNm0b6oxJ6ydcH-Q2MHXW-\\_VbLW-GOP](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/etanol!/ut/p/c5/pY_LcoIwAEW_pR_AhICCLokBYITeFpMNQzVmQJQyVKB8fbPsptPpdO7y3LM4gAO1RzIUsvyo2kfZgBPgVrEOYRjsfKj76XajG0uCk8RBUPdsxdnPPDH-YyPzT3Yybl3Fddclpq3uv9kUcNm0b6oxJ6ydcH-Q2MHXW-_VbLW-GOP)>. Acesso em: 18 fev 2016.

PETROBRÁS. **Soluções químicas: querosene iluminante**. Rio de Janeiro, 2015d. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/29fcba0043a7ac81884d8fecc2d0136c/ft-quim-querosene-iluminante.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 02 abr 2016.

PETROBRÁS. **Soluções Químicas: aguarras mineral**. Rio de Janeiro, 2015e. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/641db58043a7ae538ca18fecc2d0136c/ft-quim-sol-alif-aguarrasmineral.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 12 abr 2016.

PETROBRÁS. **Mais sobre querosene de aviação**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/produtos/paraaviacao/queroseneaviacao/maisqueroseneaviacao>>. Acesso em: 17 fev 2016.

PORTAL DO BRASIL. **Economia e emprego**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/aumento-do-etanol-na-gasolina-foi-precedido-por-um-estudo-entenda>>. Acesso em: 18 mar 2016.

RAUTER, P. Q. **Produtos: linha soventes**. Gravataí: Rauter Produtos Químicos, 2015.. Disponível em: <[http://www.rauter.com.br/produtos\\_thinner\\_sintetico\\_industrial\\_rapido.php](http://www.rauter.com.br/produtos_thinner_sintetico_industrial_rapido.php)>. Acesso em: 21 Dez 2016.

SOUZA, A. M. D. **Estudo de emissões de vapores orgânicos no carregamento de gasolina em caminhões - tanque**. 2004. 169 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004..

SOUZA, E. H. V. D. **Análise preditiva a partir da caracterização das emissões gasosas e do óleo lubrificante em frotas com motorização a diesel**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2010.

SPECTRO SCIENTIFIC, I. **FluidScan Q1000**. Massachusetts, 2012. 2 p.

SPECTRO SCIENTIFIC, I. **FluidScan Operator's Guide**. Massachusetts, 2013. v. 1.

SPECTRO SCIENTIFIC, I. **Using infrared spectroscopy for the determination of tan and tbn in machinery lubrication oils**. Massachusetts, 2014. 7 p.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering tribology**. 3.ed. New York: Elsevier, 2005.

TAKESHITA, E. V. **Adulteração da gasolina por adição de solventes: análise dos parâmetros físico-químicos**. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TESTOIL. **Test oil: manutenção preditiva através de análises de fluidos**. Mariporã, 2016. Disponível em: <<http://www.testoil.com.br/index.php/lubrificante/12-oleo-lubrificante/3-analise-de-oleo-lubrificante-contagem-de-particulas>>. Acesso em: 05 ago 2016.

URNS, S. R. **Introdução à combustão: conceitos e aplicações**. 3 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Solventes e diluentes**. Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.luteria.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2013/11/Solventes-e-diluentes1.pdf>>. Acesso em: 21 jul 2016.

VIVAS, B. M. M. **Determinação experimental de limites de inflamabilidade e temperatura de auto-ignição de petro e biocombustíveis em tubo de combustão**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

## ANEXOS

Quadro 5 – Cronologia da mistura etanol/gasolina – 1931-82

Dispositivo Legal		Abrangência	Mistura		
Nº	Data Edição		Limite	Percentual fixado	Vigência
Decreto nº 19.717	20/02/31	BR	0 < > 5%		01/07/31
Decreto-Lei nº 737	23/09/38		0 < > 5%		
Decreto nº 20.169	01/07/31		0 < > 5%	2%	01/07/31
Decreto nº 20.169	01/07/31		0 < > 5%	3%	01/08/31
Decreto nº 20.169	01/07/31		0 < > 5%	4%	01/09/31
Decreto nº 20.169	01/07/31		0 < > 5%	5%	01/10/31
Decreto nº 59.190	08/09/66		25%		09/09/66
Portaria CNP nº 94	01/07/76	PE	10% < > 11%		
Portaria CNP nº 95	02/07/76	SP	11% < > 12%		
Portaria CNP nº 163	04/10/76	PE / AL	11% < > 15%		
Portaria CNP nº 5	07/01/77	PR	10% < > 15%		
Portaria CNP nº 88	19/05/77	SP	11% < > 13%		
		SP (região metropolitana)	18% < > 20%		
Portaria CNP nº 104	06/06/77	RJ	10% < > 12%		
Portaria CNP nº 130	21/07/77	PR			
Portaria CNP nº 142	03/08/77	CE			
Portaria CNP nº 174	21/09/77	RN / PB / PE / AL	18% < > 20%		
Portaria CNP nº 198	20/10/77	SP (Norte) MG (Sul)			
Portaria CNP nº 234	20/12/77	SP			
Portaria CNP nº 39	03/02/78	NORDESTE	20% < > 23%		
Portaria CNP nº 94	25/04/78	CE / RN / PB / PE / AL	23% < > 25%		
Portaria CNP 213	26/07/78	CENTRO SUL	20%		
Portaria CNP nº 325	05/09/78	NORTE NORDESTE			
Portaria CNP nº 157	22/04/81	NORTE NORDESTE	12%		
Portaria CNP nº 245	30/06/81	CENTRO SUL			
CNE	28/09/81	BR			
Portaria CNP nº 443	17/12/81		15%		
Portaria CNE nº 12	05/01/82		20%		
Portaria CNP nº 191	18/05/82	CENTRO SUL	20%		

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011).

Quadro 6 – Evolução da mistura Etanol + gasolina – 1983 – 2006

Dispositivo Legal		Abrangência	Mistura				
Nº	Data Edição		Limite	Percentual fixado	Vigência		
Decisão Ministro MME		BR	20%				
Telex CNE nº 3.292/1983							
Portaria CNP nº 190	15/06/83						
Portaria CNP nº 144	20/06/84						
Portaria CNP nº 19	13/03/89						
Portaria CNP nº 98	07/08/89	SP (região metropolitana)	22%				
Portaria MIC/MME nº 417	31/08/89	Redução do teor de AEAC na gasolina "C"					
Portaria CNP nº 111	04/09/89	BR (exceto SP-região metropolitana)	13%				
		SP (região metropolitana)	22%				
Portaria CNP nº 143	16/11/89	BR	13%				
Telex DNC nº 265	12/06/90	SP (região metropolitana)	22%				
Telex DNC nº 510	03/07/90	Área abastecida pela Refinaria de Manguinhos					
Portaria DNC nº 23	23/09/92	BR					
Lei nº 8.723 - Art. 9º	28/10/93					29/10/93	
Medida Provisória nº 1.662	28/05/98					22% < > 24%	28/05/98
Decreto 2.607	28/05/98					24%	15/06/98
Medida Provisória nº 2.053-29	04/08/00					20% < > 24%	07/08/00
Decreto nº 3.552	04/08/00					20%	20/08/00
Decreto nº 3.824	29/05/01					22%	31/05/01
Decreto nº 3.966	10/10/01					Delegação de competência ao Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento p/fixar o teor da mistura.	
Portaria MAPA nº 589	10/12/01		24%	10/01/02			
Lei nº 10.464 - Art. 16	24/05/02		20% < > 25%	27/05/02			
Portaria MAPA nº 266	21/06/02	25%	01/07/02				
Portaria MAPA nº 17	22/01/03	20%	01/02/03				
Portaria MAPA nº 554	27/05/03	25%	01/06/03				
Portaria MAPA nº 429	13/10/05	Área abastecida a partir do município de Manaus/AM	20%	14/10/05			
Portaria MAPA nº 51	22/02/06		20%	01/03/06			
Portaria MAPA nº 278	10/11/06		23%	20/11/06			

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011).

Quadro 7 – Evolução da mistura Etanol + gasolina – 2007 – 2011

Dispositivo Legal		Abrangência	Mistura		
Nº	Data Edição		Limite	Percentual fixado	Vigência
Portaria MAPA nº 143	27/06/07	BR	25%		01/07/07
Portaria MAPA nº 7	11/01/10		20%		01/02/10
			25%		02/05/10
Portaria MAPA nº 678	31/08/11		20%		01/10/11

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011).