

FAACZ - FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL ROCHA DOS SANTOS JUNIOR

**TIPO DE COMBUSTÍVEL X DESEMPENHO DO AUTOMÓVEL: UMA
COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA, GNV E ETANOL.**

ARACRUZ - ES

2019

DANIEL ROCHA DOS SANTOS JUNIOR

**TIPO DE COMBUSTÍVEL X DESEMPENHO DO AUTOMÓVEL: UMA
COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA, GNV E ETANOL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz,, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Harerton Oliveira
Dourado.

ARACRUZ – ES

2019

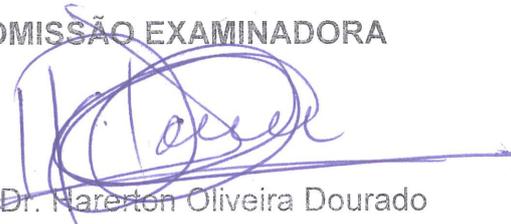
DANIEL ROCHA DOS SANTOS JUNIOR

**TIPO DE COMBUSTÍVEL X DESEMPENHO DO AUTOMÓVEL: UMA
COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA, GNV E ETANOL**

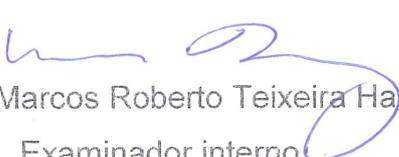
Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 21 de janeiro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Narenton Oliveira Dourado
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador



Prof. Dr. Marcos Roberto Teixeira Halasz
Examinador interno

RESUMO

Trata-se de estudo sobre os tipos de combustíveis em relação ao desempenho do automóvel, traçando uma comparação entre gasolina, GNV e etanol. O objetivo geral da pesquisa é analisar os diversos aspectos e implicações do uso da gasolina, GNV e etanol como combustíveis em veículos de passeio e sua influência sobre o desempenho do automóvel. Já os específicos são: fazer uma comparação entre os combustíveis: gasolina, GNV e etanol quanto ao desempenho do automóvel; discutir a relação entre o tipo de combustível automotivo e o desempenho do automóvel; evidenciar as principais vantagens e desvantagens relacionadas ao uso da gasolina, GNV e etanol como combustível automotivo. Dada a necessidade da busca por combustíveis automotivos alternativos e suas implicações econômicas, sociais e ambientais, este estudo visa abordar os principais aspectos relacionados ao uso da gasolina, GNV e etanol como combustíveis em veículos de passeio. O tema escolhido é de grande relevância, uma vez que aborda a discussão de combustíveis automotivos alternativos e sua influência sobre o desempenho do automóvel, sendo, portanto, de interesse acadêmico, pragmático e científico, especialmente na área da Engenharia Mecânica. A metodologia utilizada foi a bibliográfica que é realizada com base no levantamento e consulta de artigos científicos, monografias, teses e dissertações sobre o assunto, disponíveis em bases de dados diversas. Tal pesquisa é permeada pela seguinte questão norteadora: Quais as principais vantagens e desvantagens do uso dos combustíveis gasolina, GNV e etanol nos veículos de passeio, bem como sua influência sobre o desempenho do automóvel?

Palavras-chave: Tipos de combustíveis. Desempenho do automóvel. Vantagens e desvantagens.

ABSTRACT

This is a study on the types of fuels in relation to the car's performance, drawing a comparison between gasoline, CNG and ethanol. The general objective of the research is to analyze the different aspects and implications of the use of gasoline, CNG and ethanol as fuels in passenger cars and their influence on the performance of the car. The specifics are: make a comparison between fuels: gasoline, CNG and ethanol regarding the performance of the car; discuss the relationship between the type of automotive fuel and the performance of the automobile; evidence the main advantages and disadvantages related to the use of gasoline, CNG and ethanol as automotive fuel. Given the need to search for alternative automotive fuels and their economic, social and environmental implications, this study aims to address the main aspects related to the use of gasoline, CNG and ethanol as fuels in passenger vehicles. The chosen theme is of great relevance, since it addresses the discussion of alternative automotive fuels and their influence on the performance of the automobile, being, therefore, of academic, pragmatic and scientific interest, especially in the area of Mechanical Engineering. The methodology used was the bibliography which is based on the survey and consultation of scientific articles, monographs, theses and dissertations on the subject, available in different databases. Such research is permeated by the following guiding question: What are the main advantages and disadvantages the use of gasoline, CNG and ethanol fuels in passenger cars, as well as their influence on car performance?

Keywords: Fuel types. Car performance. Advantages and disadvantages.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Composição da matriz energética mundial.....	16
Figura 2 – Matriz energética brasileira	17
Figura 3 – Principais frações obtidas na destilação fracionada do petróleo	21
Figura 4 – Mercado nacional de combustíveis em 2018	22
Figura 5 – Perfil da frota nacional de veículos leves de acordo com o tipo de combustível	23
Figura 6 – Principais produtores mundiais de etanol.....	32
Figura 7 – Evolução do preço da gasolina e etanol no Brasil entre 2011 e 2015..	38
Figura 8 – Equação de combustão completa da gasolina, GNV e etanol.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição elementar média do petróleo.....	20
Tabela 2 – Faixa de temperatura de ebulição das principais frações obtidas do petróleo.	21
Tabela 3 – Principais gasolinas comercializadas pela Petrobras no Brasil.....	27
Tabela 4 – Composição do GNV de diferentes estados brasileiros.	29
Tabela 5 – Demanda nacional de GNV em milhões de m ³ de gás por ano.	30
Tabela 6 – Principais propriedades físico-químicas da gasolina, GNV e etanol.	34
Tabela 7 – Resultados da avaliação do desempenho do automóvel quanto ao uso de gasolina, GNV e etanol.	35
Tabela 8 – Resultados da avaliação do desempenho de automóveis antes e após conversão para GNV.....	36
Tabela 9 – Estimativas de custos para cada um dos combustíveis.	38
Tabela 10 – Custo do combustível por km rodado.....	39
Tabela 11 – Fator de emissão de CO ₂ e poluentes para veículos leves de acordo com o combustível.	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Origem e aplicações dos principais combustíveis automotivos.	22
Quadro 2 – Principais propriedades dos combustíveis líquidos.	24
Quadro 3 – Principais tipos gasolinas comercializadas no Brasil.	26
Quadro 4 – Principais classes de aditivos da gasolina e suas finalidades.	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo

CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GNV – Gás Natural Veicular

IAD – Índice antidetonante

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

ppm – partes por milhão

PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool

rpm – Rotações por minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

C_2H_5OH – etanol

C_2H_6 – etano

C_3H_8 – propano

C_4H_{10} – butano

C_8H_{18} – octano

CH_4 – metano

CO – monóxido de carbono

CO_2 – dióxido de carbono

cv – cavalo

g/km – grama por quilômetro

g/mL – grama por mililitro

g/mol – grama por mol

kcal/kg – quilocaloria por quilograma

kgf.m – quilograma força x metro

kJ/kg – quilojoule por quilograma

kJ/mol – quilojoule por mol

km/h – quilômetro por hora

km/L - quilômetro por litro

km/m³ - quilômetro por metro cúbico

N_2 – nitrogênio

NO_x – óxidos de nitrogênio

°C – grau Celsius

°GL – grau Gay-Lussac

SO_2 – dióxido de enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 DESENVOLVIMENTO	16
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA.....	16
2.1.1 Matriz energética brasileira	17
2.2 COMBUSTÍVEIS	18
2.2.1 Combustíveis não renováveis (fósseis)	18
2.2.1 Combustíveis renováveis	19
2.3 COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS	19
2.3.1 Gasolina	25
2.3.2 GNV	28
2.3.3 Etanol	31
2.4 COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA, GNV E ETANOL.....	33
2.4.1 Propriedades físico-químicas	33
2.4.2 Desempenho do automóvel	35
2.4.3 Aspectos econômicos	36
2.4.3 Aspectos ambientais	40
3 CONCLUSÃO	42
4 REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional vem sendo acompanhado pelo crescimento acentuado da frota mundial de veículos, e, diante da eminente escassez das reservas de combustíveis fósseis nas próximas décadas, a indústria automobilística não tem medido esforços na pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos. (BASTOS; FORTUNATO, 2014)

No cenário atual, o interesse e necessidade da busca por novas fontes alternativas de energia são impulsionados principalmente pelo alto preço de mercado do petróleo e as pressões pela redução das emissões de poluentes relacionados a importantes problemas ambientais como o efeito estufa. Neste contexto, no que diz respeito aos veículos de passeio, ao longo do tempo foram surgindo combustíveis menos poluentes, os quais vêm ganhando cada vez mais espaço e utilidade frente ao uso da gasolina. De forma que, no mercado atual, o etanol e o gás natural veicular (GNV) estão entre os combustíveis que competem diretamente com a gasolina, seja em relação ao preço ou aos menores danos ambientais que provocam. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007)

Os avanços no setor automotivo e o desenvolvimento de novos combustíveis foram acompanhados pela evolução dos motores de combustão interna de forma a se adaptar a essas novas tecnologias. Um dos marcos nessa evolução diz respeito ao lançamento dos veículos *flex fuel*, o que possibilitou uma maior flexibilidade na escolha do combustível, pois com essa nova tecnologia o consumidor passa a escolher o combustível no momento do abastecimento, e não mais no momento da compra do automóvel. (IGARASHI, 2015)

É eminente ainda a flexibilidade econômica proporcionada pelos veículos *flex-fuel*, uma vez que o proprietário do veículo tem a possibilidade de escolher o combustível ou a proporção da mistura dos combustíveis mais barato em cada abastecimento. Quanto à questão ambiental, como permite a substituição total da gasolina ou sua mistura com etanol. O desenvolvimento dos veículos *flex fuel* constitui ainda uma importante contribuição na redução das emissões de poluentes oriundos da queima de combustíveis fósseis. (BASTOS; FORTUNATO, 2014)

Neste estudo abordam-se por meio de uma revisão bibliográfica da literatura os diversos aspectos relacionados ao uso dos combustíveis gasolina, GNV e etanol

nos veículos de passeio, bem como sua influência sobre o desempenho do automóvel. Para tanto, recorreu-se metodologicamente à revisão bibliográfica para condução de um estudo descritivo fundamentado em trabalhos científicos pertinentes à pesquisa em tela.

Nesta perspectiva, optou-se pela pesquisa bibliográfica realizada com base no levantamento e consulta de artigos científicos, monografias, teses e dissertações sobre o assunto, disponíveis em bases de dados diversas.

Tal pesquisa é permeada pela seguinte questão norteadora: Quais as principais vantagens e desvantagens do uso dos combustíveis gasolina, GNV e etanol nos veículos de passeio, bem como sua influência sobre o desempenho do automóvel?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os diversos aspectos e implicações do uso da gasolina, GNV e etanol como combustíveis em veículos de passeio e sua influência sobre o desempenho do automóvel.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Comparar os combustíveis gasolina, GNV e etanol quanto às propriedades físicas, desempenho do automóvel, aspectos econômicos e aspectos ambientais
- ✓ Discutir a relação entre o tipo de combustível automotivo e o desempenho do automóvel.
- ✓ Evidenciar as principais vantagens e desvantagens relacionadas ao uso da gasolina, GNV e etanol como combustível automotivo.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento e uso de novos combustíveis automotivos apresenta um importante papel econômico, social e ambiental, impactando diretamente nas novas tecnologias desenvolvidas pela indústria automotiva. Desse modo, muita atenção tem sido dada ao assunto, o qual tem despertado o interesse científico de especialistas das mais diversas áreas, especialmente a Engenharia Mecânica.

Considerando o interesse por combustíveis alternativos, a Engenharia Mecânica muito tem a contribuir nesse campo, através do desenvolvimento de motores cada vez mais modernos e eficientes, a exemplo dos motores *flex fuel* que promoveram uma revolução no mercado automotivo, de forma que suas vendas só crescem.

Dada a necessidade da busca por combustíveis automotivos alternativos e suas implicações econômicas, sociais e ambientais, este estudo visa abordar os principais aspectos relacionados ao uso da gasolina, GNV e etanol como combustíveis em veículos de passeio.

O tema escolhido é de grande relevância, uma vez que aborda a discussão de combustíveis automotivos alternativos e sua influência sobre o desempenho do automóvel, sendo, portanto, de interesse acadêmico, pragmático e científico, especialmente na área da Engenharia Mecânica.

Diante deste contexto, almeja-se com o presente trabalho analisar os diversos aspectos e implicações do uso da gasolina, GNV e etanol como combustíveis e sua influência sobre o desempenho de automóveis com motor de combustão interna.

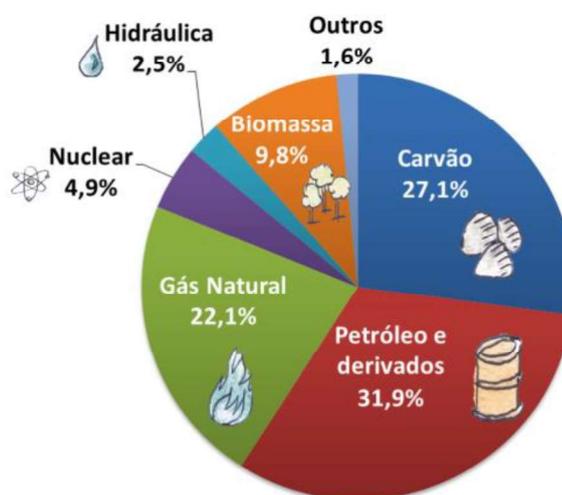
2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA

A energia é indispensável para o desenvolvimento em todas as áreas e pode ser obtida por diferentes fontes, tais como: sol, petróleo, madeira, vento, carvão vegetal, dentre outros. O conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda de energia de uma cidade, estado, país ou do mundo, é denominado matriz energética (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

A matriz energética mundial é composta principalmente por fontes não renováveis de energia, como o petróleo, o carvão e o gás natural (Figura 1), sendo que boa parte da demanda de energia se deve ao consumo de combustíveis automotivos derivados do petróleo (EPE, 2018).

Figura 1 – Composição da matriz energética mundial.



Fonte: EPE (2018).

Os combustíveis fósseis representam ainda a base da matriz energética mundial. Contudo, diante da eminente escassez das reservas mundiais de petróleo, esse tipo de combustível, tem sido gradualmente substituído por novas fontes de energia (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

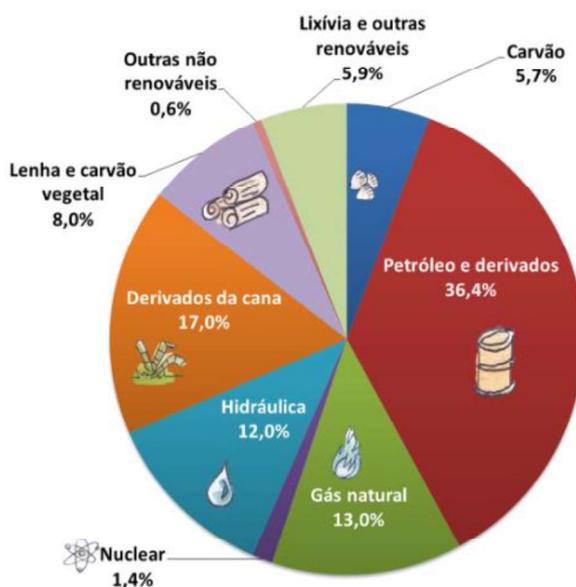
Tais fontes constituem as chamadas fontes renováveis de energia, que ao contrário dos combustíveis fósseis, são repostas imediatamente pela natureza, é o caso das energias solar, eólica, geotérmica, dentre outras (GOLDEMBERG; LUCCON, 2007).

2.1.1 Matriz energética brasileira

Com a crescente demanda por combustíveis fósseis e o provável esgotamento das reservas mundiais de petróleo, o uso de energia proveniente de fontes renováveis é cada vez mais acentuado, e fez com que a matriz energética de vários países mudasse. É o que se observa aqui no Brasil, onde atualmente contamos com uma matriz energética mais renovável do que a mundial (GALDINO et al., 2016).

A matriz energética brasileira (FIGURA 2) é bem diferente da mundial, de forma que são perceptíveis as mudanças provenientes da contribuição de fontes renováveis, incluindo a energia hidráulica e a proveniente da queima de biomassa e combustíveis derivados da cana de açúcar. Apesar da prevalência do consumo de combustíveis fósseis, o Brasil dispõe e utiliza mais fontes renováveis que o restante do mundo (EPE, 2018).

Figura 2 – Matriz energética brasileira.



Fonte: EPE (2018).

2.2 COMBUSTÍVEIS

Dentre a grande variedade de materiais existentes, devido ao seu caráter essencial à existência e sobrevivência da nossa sociedade os combustíveis representam uma importante classe. Em geral, tais materiais são utilizados como fonte de energia para o aquecimento industrial, para a geração de energia elétrica e principalmente como fonte de energia em motores à combustão (MIRANDA, 2013).

Do ponto de vista químico um combustível pode ser definido como qualquer substância que reage com o oxigênio do ar, de forma a produzir chama, calor e produtos gasosos. A reação entre um combustível e um comburente é denominada combustão e tem como principal característica a liberação de energia térmica em sua forma utilizável (DIONYSIO; MEIRELLES, 2016).

Em termos gerais, para que um material possa ser utilizado viavelmente como combustível são desejáveis os seguintes requisitos econômicos e técnicos (EPE, 2018):

- Armazenamento e transporte seguro;
- Facilidade de obtenção e uso;
- Não produzir substâncias tóxicas durante a combustão;
- Disponibilidade;
- Baixo custo de produção.

No que diz respeito à origem, os combustíveis são classificados em renováveis e não renováveis, conforme é apresentado nos próximos dois tópicos.

2.2.1 Combustíveis não renováveis (fósseis)

Combustíveis não renováveis ou fósseis são aqueles que têm sua origem na fossilização de animais, vegetais e microorganismos durante eras geológicas. Tais combustíveis são obtidos a partir do carvão, gás natural e do petróleo, sendo que

esses dois últimos constituem as principais fontes de combustíveis utilizados em veículos automotores (GOLDEMBERG; LUCCON, 2007).

O uso em larga escala dos combustíveis fósseis teve início com o advento da Revolução Industrial e desde então tais combustíveis vêm sendo progressivamente explorados, de forma que as jazidas mundiais de carvão, gás natural e petróleo devem se esgotar nas próximas décadas. Havendo desta forma a necessidade da substituição gradual desses combustíveis por combustíveis provenientes de fontes renováveis (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

2.2.1 Combustíveis renováveis

Combustíveis renováveis são aqueles obtidos a partir de recursos naturais capazes de se regenerar, ou seja, são considerados inesgotáveis, uma vez que são repostos pela natureza. Dentre os combustíveis renováveis mais conhecidos atualmente estão o etanol e o biodiesel (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

Quando comparado aos combustíveis fósseis o uso de combustíveis renováveis traz inúmeros benefícios para a sociedade, além de reduzir os impactos ambientais provenientes da queima de combustíveis. Desta forma, sua utilização em substituição aos combustíveis fósseis além de viável e vantajosa é uma necessidade (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

2.3 COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS

Os combustíveis automotivos são materiais utilizados como fonte de energia nos motores automotivos. Apesar dos grandes avanços no desenvolvimento de novos combustíveis renováveis, os combustíveis automotivos em sua grande maioria são ainda provenientes da destilação do petróleo, dentre eles a gasolina e o óleo diesel (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

O petróleo apresenta-se como um líquido viscoso e escuro e tem sua origem na fossilização da matéria orgânica. No que diz respeito à composição química o

petróleo consiste basicamente de uma mistura de hidrocarbonetos que apresenta composição variável a depender de fatores geológicos, principalmente da localização da jazida (MIRANDA, 2013).

Quanto à composição elementar, carbono e hidrogênio são os principais elementos químicos presentes no petróleo, seguido por outros elementos que se apresentam em quantidades menores, como é o caso do enxofre, nitrogênio, oxigênio e diversos metais (DANTAS NETO; GURGEL, 2015).

A composição elementar média do petróleo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição elementar média do petróleo.

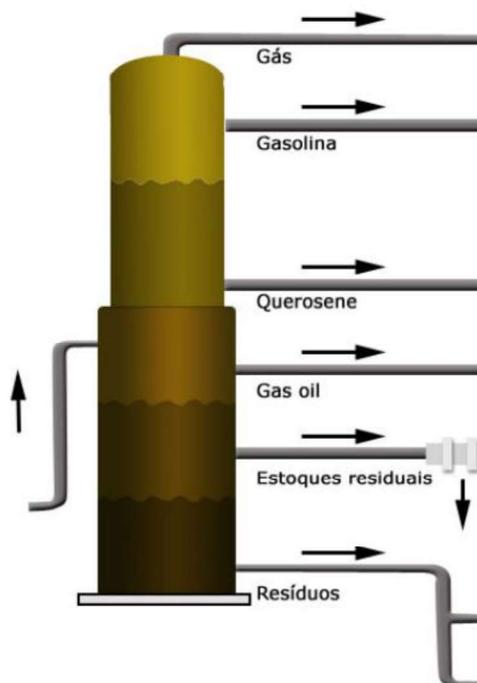
Elemento	Porcentagem em peso
Carbono	83,9 a 86,8
Hidrogênio	11,4 a 14,0
Enxofre	0,06 a 9,00
Nitrogênio	0,11 a 1,70
Oxigênio	0,50
Metais diversos	0,30

Fonte: Dantas Neto e Gurgel (2015).

O petróleo é utilizado como fonte de obtenção de produtos diversos e não apenas de combustíveis. A obtenção de tais substâncias se dá pelo processo de refino, que envolve a destilação fracionada do petróleo (FIGURA 3), processo físico que promove a separação do petróleo gerando frações de grande interesse industrial. A gasolina, o querosene e o óleo diesel são exemplos de combustíveis obtidos por meio da destilação fracionada do petróleo (DIONYSIO; MEIRELLES, 2016).

Na destilação fracionada as diferentes frações do petróleo são obtidas com base nas faixas de temperaturas de ebulição de seus componentes, de forma que quanto mais leve a fração, isto é, menores as cadeias carbônicas de seus componentes, mais rápida é a obtenção. (DANTAS NETO; GURGEL, 2015). Desta forma, frações mais leves como a gasolina, são obtidas primeiro que frações mais pesadas como é o caso do óleo diesel (DANTAS NETO; GURGEL, 2015).

Figura 3 – Principais frações obtidas na destilação fracionada do petróleo.



Fonte: Dionysio e Meirelles (2016).

Tabela 2 – Faixa de temperatura de ebulição das principais frações obtidas do petróleo.

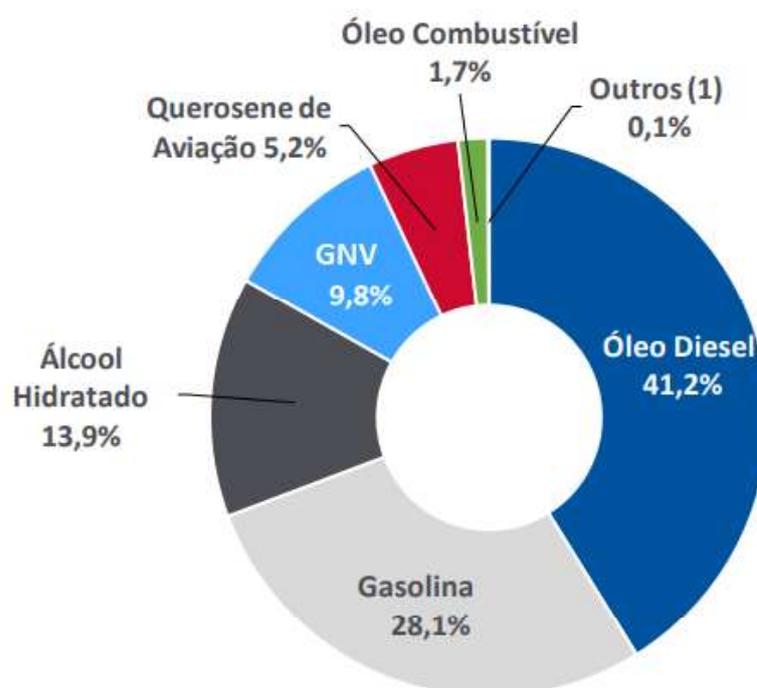
Fração	Faixa de temperatura
Gasosa	< 33 °C
Gasolina	33-105 °C
Querosene	158-233 °C
Gasóleo	233-427 °C
Resíduos	> 427 °C

Fonte: Dantas Neto e Gurgel (2015).

No que diz respeito aos combustíveis automotivos utilizados no Brasil, ainda prevalece o uso de derivados do petróleo, de forma que juntos, gasolina e óleo diesel são responsáveis por mais da metade da demanda de combustíveis em nosso país (FIGURA 4). Contudo, observa-se um considerável crescimento atual no uso de etanol e GNV (ANP, 2019).

Apesar da gasolina e óleo diesel comporem a base do mercado nacional de combustíveis automotivos, quando consideramos a aviação e os combustíveis renováveis, são incluídos outros importantes combustíveis como o querosene e o biodiesel, conforme apresentado no Quadro 1.

Figura 4 – Mercado nacional de combustíveis em 2018.



Fonte: ANP (2019).

Quadro 1 – Origem e aplicações dos principais combustíveis automotivos.

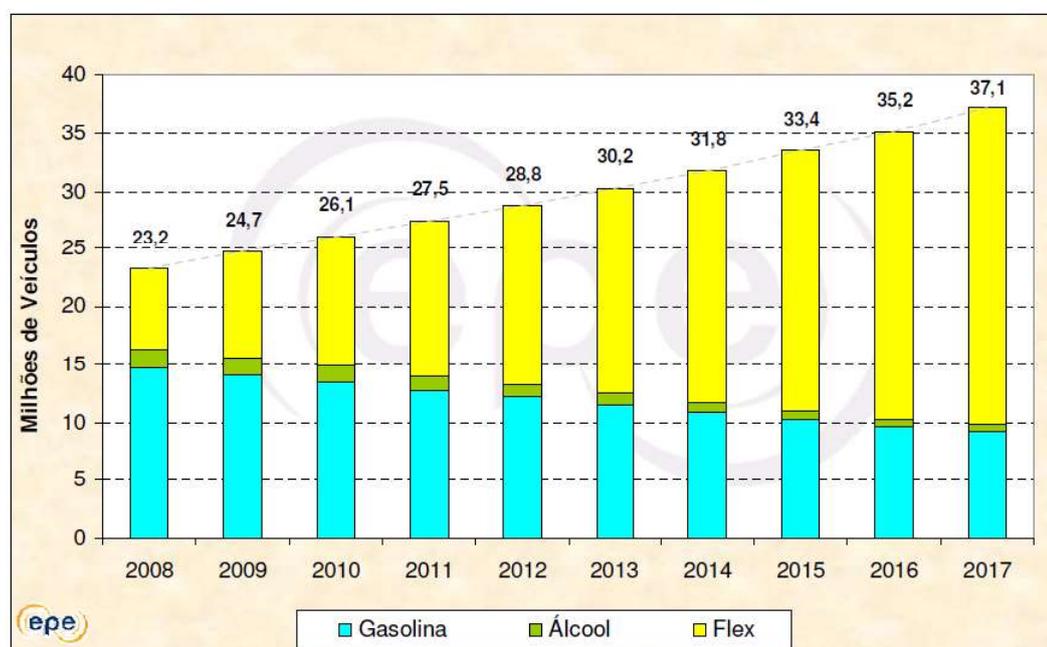
ORIGEM	COMBUSTÍVEL	PRINCIPAIS USOS
Não renovável (fóssil)	Gasolina	Veículos leves
	Querosene	Aeronaves
	Diesel leve	Motores a diesel
	Diesel pesado	Navios
	GNV	Veículos leves
Renovável	Etanol	Veículos leves
	Biodiesel	Motores a diesel

Fonte: Adaptado de Dionysio e Meirelles (2016).

Em se tratando da frota nacional de veículos leves, gasolina e etanol são os combustíveis mais utilizados. Contudo, com o lançamento dos motores multicomcombustíveis (flex fuel) no Brasil houve um considerável crescimento da frota de veículos flex nos últimos anos, de forma que há a tendência de que a gasolina seja gradativamente substituída pelo etanol (EPE, 2018).

O gráfico da Figura 5 evidencia o crescimento da frota nacional de veículos leves de acordo com o tipo de combustível.

Figura 5 – Perfil da frota nacional de veículos leves de acordo com o tipo de combustível.



Fonte: EPE (2018).

Quanto ao estado físico os combustíveis são classificados em sólidos, líquidos ou gasosos. Apesar dos combustíveis gasosos apresentarem maior facilidade de formação da mistura com o ar, os combustíveis líquidos são os mais utilizados como fonte de energia nos automotores, o que se deve a uma gama de vantagens, dentre elas as facilidades de armazenamento, operação e transporte deste tipo de material (BIZZO, 2003).

Os combustíveis líquidos apresentam propriedades diversas e sua caracterização compreende a medição destas propriedades, cujas principais são definidas no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais propriedades dos combustíveis líquidos.

PROPRIEDADE	DEFINIÇÃO
Poder calorífico	Quantidade de calor desprendido na combustão completa do combustível
Ponto de fulgor	Temperatura mínima na qual ocorre vaporização do combustível em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar
Ponto de ignição	Temperatura do combustível na qual ocorre a combustão continuada
Temperatura de auto-ignição	Temperatura mínima de uma mistura ar-combustível em que a combustão é iniciada e se mantém
Ponto de fluidez	Temperatura mínima necessária para que o combustível se torne um fluido
Viscosidade	Propriedade que caracteriza a resistência do combustível ao escoamento

Fonte: Bizzo (2003).

A volatilidade é outra propriedade importante com base na qual os combustíveis líquidos são classificados em dois tipos: carburantes e óleos combustíveis. Os combustíveis carburantes apresentam alta volatilidade e são utilizados em motores à ignição por centelha. Por sua vez, os óleos combustíveis são menos voláteis e sua utilização se dá em motores de combustão por compressão de média e alta rotação, bem como em motores de grande porte e baixa rotação (PENIDO FILHO, 1983).

Como o foco deste estudo são os veículos de passeio, a atenção estará concentrada nos combustíveis gasolina, GNV e etanol, os quais são abordados detalhadamente nos tópicos a seguir.

2.3.1 Gasolina

A gasolina é um dos combustíveis derivados petróleo mais utilizados em motores de combustão interna com ignição por centelha. Tal combustível apresenta-se como um líquido volátil e inflamável, cujas características dependem da destinação de uso, do petróleo que o originou, bem como do processo de refino do petróleo. Quanto à composição química, a gasolina consiste de mistura complexa de hidrocarbonetos com cadeias contendo de 4 a 12 átomos de carbono, estando ainda presentes em pequenas quantidades enxofre, oxigênio e nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2004).

Quanto à destinação de uso a gasolina é classificada em dois tipos: gasolina de aviação e gasolina automotiva (PETROBRAS, 2019). A gasolina de aviação é utilizada como combustível em aeronaves de pequeno porte e apresenta-se como uma mistura de hidrocarbonetos cuja temperatura de ebulição encontra-se na faixa de 30-170 °C. Por sua vez, a gasolina automotiva é constituída geralmente por hidrocarbonetos contendo de 5 a 12 átomos de carbono, apresentando temperatura de ebulição na faixa de 30-225 °C, tendo seu uso principal como combustível em motores de combustão interna (PETROBRAS, 2019).

No que diz respeito à qualidade da gasolina, para que esta seja mantida alguns parâmetros devem ser monitorados, de forma a garantir que o produto atenda a todas as exigências dos motores, assegurando um bom desempenho. Neste sentido, a octanagem é um dos principais parâmetros utilizados para se avaliar a qualidade de uma gasolina (MENDES, 2012).

A octanagem refere-se à resistência oferecida pela gasolina à detonação no motor de combustão interna do veículo, de forma que, quanto maior a octanagem maior a resistência da gasolina à detonação. Assim sendo, gasolinas com alta octanagem possibilitam um melhor desempenho do motor (PETROBRAS, 2019).

O índice de octanagem é um indicador da qualidade da gasolina. Dentre os hidrocarbonetos que compõem a gasolina, o isooctano é o mais resistente à detonação. Por sua vez, o *n*-heptano é o de menor resistência. Desta forma, atribui-se ao isooctano valor 100 de octanagem e valor zero ao *n*-heptano. Sendo assim pode-se dizer que uma gasolina com índice de octanagem igual a 81, quanto à

resistência à detonação, comporta-se como se fosse uma mistura de 81% de isooctano e 19% de *n*-heptano (DIONYSIO; MEIRELLES, 2016).

Quanto à qualidade e composição as gasolinas automotivas comercializadas no Brasil são, segundo a ANP (2016), são classificadas em gasolina A, sem etanol, vendida pelos produtores e importadores de gasolina; e gasolina C, com adição de etanol anidro combustível comercializado pelos distribuidores, vendida aos postos revendedores e em seguida ao consumidor final.

A Resolução ANP nº 704/2017, que revogou a Resolução ANP nº 1/2014, retirou a obrigatoriedade do registro de aditivos para combustíveis automotivos pela ANP. Com isso, a ANP deixou de registrar aditivos para combustíveis (ANP, 2019).

O Quadro 3 apresenta os diferentes tipos de gasolinas comercializadas no Brasil pelas distribuidoras, bem como as especificação de cada tipo. São quatro tipos principais: comum, aditivada, premium e podium, as quais podem ser dos tipos A ou C, quanto à adição de álcool (PETROBRAS, 2014).

Quadro 3 – Principais tipos gasolinas comercializadas no Brasil.

CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO E ESPECIFICAÇÕES
Gasolina tipo A	Conhecida como gasolina pura, uma vez que não recebe à adição de etanol em sua composição. Não é comercializada nos postos de combustíveis.
Gasolina Comum (ou tipo C)	É obtida a partir da adição de etanol anidro num percentual de 18 a 27% à gasolina tipo A. Deve apresentar octanagem mínima de 87 IAD.
Gasolina Aditivada	É obtida pela adição de aditivos com finalidades específicas de melhorar a qualidade da gasolina comum.
Gasolina Premium	Trata-se de uma gasolina aditivada, com alta octanagem (91 IAD) e cerca de 25% de etanol em sua composição.
Gasolina Podium	Trata-se de uma gasolina super premium com octanagem mínima de 95 IAD, a mais alta do mercado.

Fonte: Petrobras (2014).

Segundo Mendes (2012), além dos tipos básicos de gasolina, existem gasolinas especiais, as quais são produzidas e comercializadas com finalidades específicas, conforme apresentado a seguir:

- **Gasolina padrão** – gasolina produzida especialmente para uso da indústria automobilística em ensaios diversos;
- **Gasolina de referência** – é utilizada pela indústria automobilística na homologação de veículos, através de ensaios de medição de consumo e emissão de poluentes;
- **Gasolina para teste de desempenho** – gasolina feita sob medida para o cliente, para ser utilizada em testes de desempenho;
- **Gasolina de primeiro enchimento** – é destinada ao abastecimento dos veículos quando saem da linha de montagem.

A Petrobras domina o mercado nacional de combustíveis e tem investido cada vez mais na produção de gasolinas de qualidade superior. Neste sentido, ocorreu um grande avanço com o desenvolvimento de uma nova tecnologia de hidrodesulfurização que possibilitou a obtenção de gasolinas UBTE, isto é, com ultra baixo teor de enxofre. De forma que, desde o início de 2016, toda gasolina comercializada no país apresentam teor máximo de enxofre de 50 ppm, teor consideravelmente menor que o antigamente aceitável, que era de 800 ppm (PETROBRAS, 2016).

A fim de se melhorar a qualidade e lhe atribuir características de melhor desempenho, diversos aditivos podem ser adicionados à gasolina. As pesquisas por aditivos que aumentassem a octanagem da gasolina tiveram início durante a I Guerra Mundial, e um dos primeiros aditivos a ser utilizado foi o chumbo tetra-etila, que a partir de 1921 foi introduzido como aditivo na gasolina. Contudo, devido à sua elevada toxicidade muitos países optaram por banir o uso desse componente em suas gasolinas. A exemplo do Brasil, que após alguns anos ajustou a formulação da sua gasolina, adicionando 20% de etanol anidro e retirando gradativamente o chumbo tetra-etila de sua gasolina (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

Os aditivos são adicionados à gasolina visando realçar determinadas características de desempenho e qualidade da mesma. Alguns aditivos, por exemplo, foram desenvolvidos com o objetivo de evitar a formação e deposição de

sujeira no motor, já outros atuam como anticongelantes, evitando o congelamento do carburador do veículo em dias muito frios (MELLO, 2008).

No Brasil, o etanol constitui o principal componente adicionado à gasolina e apesar de não ser um aditivo propriamente dito, diversos estudos apontam um aumento da octanagem da gasolina após adição de etanol anidro (SCAFI, 2005).

No Quadro 4, são apresentadas as principais classes de aditivos da gasolina e suas respectivas finalidades.

Quadro 4 – Principais classes de aditivos da gasolina e suas finalidades.

CLASSE	FINALIDADE
Antidetonantes	Aumentar a octanagem
Antioxidantes	Minimizar a oxidação e formação de goma na gasolina
Desativadores de metal	Desativar metais que são catalisadores da oxidação
Inibidores de corrosão	Minimizar a corrosão no sistema combustível
Anticongelantes	Evitar o congelamento da água do carburador
Detergentes	Minimizar o acúmulo de sujeira no carburador
Dispersantes	Finalidades diversas
Corantes	Dar coloração para facilitar a identificação da gasolina

Fonte: Mello (2008).

2.3.2 GNV

O GNV (gás natural veicular) é um combustível fóssil formado basicamente por uma mistura de hidrocarbonetos leves, sendo o metano (CH₄) seu principal componente, uma vez que este corresponde de 85% a 98% da composição do GNV. Além do metano, outros hidrocarbonetos maiores como etano, propano e butano estão presentes, além de gases inertes como hidrogênio, nitrogênio e dióxido de carbono, os quais se apresentam em pequenas proporções (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

Assim como petróleo, o GNV é proveniente da decomposição e fossilização da matéria orgânica, sendo encontrado em regiões porosas do subsolo terrestre ou marítimo. Desta forma, o gás natural pode ser encontrado associado ou não ao petróleo. Do ponto de vista econômico, o gás natural não associado é o mais

interessante, uma vez que o mesmo está livre ou associado a quantidades ínfimas de petróleo, há uma redução considerável nos custos de sua cadeia produtiva (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

No que diz respeito às propriedades físico-químicas, nas condições normais de temperatura e pressão – CNTP, o GNV apresenta-se como um gás inodoro de baixa densidade e alta volatilidade. Por ser mais leve que o ar, o uso do GNV é mais seguro que o de outros combustíveis e a fim de aumentar ainda mais a segurança, antes da comercialização ao GNV é adicionado um odorizante para que em casos de vazamentos seu cheiro possa ser percebido (ANEEL, 2008).

Assim como ocorre com a gasolina, a composição do gás natural é variável e influenciada por fatores diversos, como, por exemplo, a localização da jazida, uma vez que dependendo do local de extração, a composição e os teores dos componentes presentes pode ser alterada (GASNET, 2012).

Na Tabela 4, é apresentada a composição típica do GNV de acordo com alguns estados brasileiros de origem.

Tabela 3 – Composição do GNV de diferentes estados brasileiros.

ORIGEM	COMPOSIÇÃO EM VOLUME (%)						Densidade (g/mL)
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀ e maiores	CO ₂	N ₂	
Alagoas	76,9	10,1	5,8	1,7	1,2	2,0	0,625
Bahia	88,6	9,8	0,4	-	0,6	1,2	0,615
Ceará	76,0	8,0	7,0	4,3	1,1	1,5	0,662
Espírito Santo	84,8	8,9	3,0	0,9	0,3	1,6	0,664
Rio de Janeiro	89,4	6,7	2,3	0,5	0,3	0,8	0,623
Rio Grande do Norte	83,5	11,0	0,4	-	1,9	3,2	0,644

CH₄ = metano; C₂H₆ = etano; C₃H₈ = propano; C₄H₁₀ = butano; CO₂ = dióxido de carbono; N₂ = gás nitrogênio.

Fonte: Gasnet (2012).

O uso do GNV como combustível automotivo surgiu como uma alternativa concreta de redução da dependência à gasolina, bem como a diminuição dos danos ambientais relacionados à emissão de poluentes gerados pelos veículos automotores, por se tratar de um combustível menos poluente que os demais. Desta

forma, o interesse pelo GNV está relacionado basicamente à necessidade da busca por alternativas ao petróleo e de combustíveis menos danosos ao meio ambiente (BASTOS; FORTUNATO, 2014).

Para Goldenstein; Azevedo (2006), no Brasil, o uso do GNV se iniciou em 1992, em táxis, e, em 1996, teve seu uso expandido para carros de passeio. Um grande avanço na utilização de GNV no país diz respeito à construção do gasoduto Brasil-Bolívia o qual impulsionou consideravelmente o uso do GNV, uma vez que possibilitou uma alta oferta deste combustível no mercado. Somaram-se a isso, os diversos incentivos do governo federal ao uso do GNV em veículos automotores o que tornou sua utilização bastante proveitosa em veículos de passeios e de transportes urbano (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

A grande oferta de GNV no mercado nacional somada aos incentivos fiscais, como o considerável desconto de IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores, dos veículos adaptados fez com que a frota nacional de veículos movidos a GNV e a demanda por este combustível aumenta-se consideravelmente nos últimos anos, de forma que entre 2007 e 2017, a taxa média anual de crescimento do consumo de GNV no país foi de 9,3% (EPE, 2018 a).

Na Tabela 5, pode ser observada a demanda de GNV no Brasil entre os anos de 2007 e 2017.

Tabela 4 – Demanda nacional de GNV em milhões de m³ de gás por ano.

ANO	TOTAL	GNV para veículos pesados	GNV para veículos leves
2007	2.102	0	2.102
2008	2.813	0	2.813
2009	3.002	0	3.002
2010	3.293	101	3.192
2011	3.560	106	3.454
2012	3.848	112	3.736
2013	4.118	118	4.000
2014	4.338	125	4.213
2015	4.538	132	4.406
2016	4.698	139	4.559
2017	4.857	146	4.711

Fonte: EPE (2018 a).

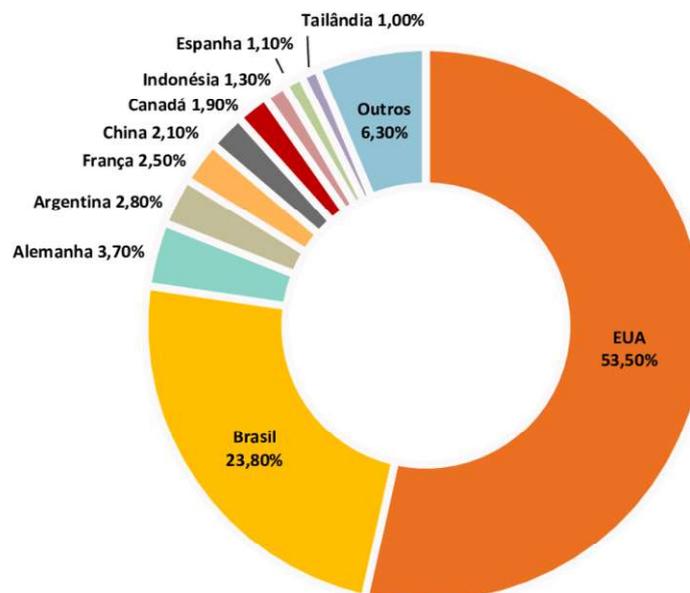
2.3.3 Etanol

O etanol ou álcool hidratado é um combustível renovável obtido a partir da fermentação de açúcares de diferentes matérias primas vegetais tais como: beterraba, milho, trigo, mandioca, dentre outros. Contudo, a cana de açúcar é a principal fonte de produção de etanol (MACEDO, 2007).

O etanol é utilizado como combustível em veículos movidos a álcool ou com motor flex, sendo comercializado sob a forma hidratada, em que o teor de álcool na mistura é expresso em graus Gay-Lussac – °GL, e geralmente encontra-se na faixa de 92,6 a 93,8 °GL. Por sua vez, o etanol anidro é isento de água e constitui um dos principais componentes adicionados à gasolina (EPE, 2018 a).

O etanol constitui o primeiro combustível renovável a ser utilizado em larga escala, de forma que seu uso se encontra associado a diversos benefícios e vantagens, o principal deles é ser uma fonte inesgotável de energia, uma vez que é repostado rapidamente pela natureza, ao contrário dos derivados do petróleo. Além disso, o uso do etanol está associado a uma maior estabilidade econômica, uma vez que os países que produzem este combustível estão menos sujeitos a tensões geopolíticas graves e apresentam menor dependência do mercado externo (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

O Brasil, conta com uma extensa área terrestre produtiva e com um clima totalmente favorável ao plantio e cultivo da cana de açúcar, além disso, é um dos poucos países que dominam totalmente a tecnologia de produção de etanol em larga escala, e desta forma, figura como o segundo maior produtor mundial de etanol, perdendo apenas para os Estados Unidos da América, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 6 (PEREIRA, 2014).

Figura 6 – Principais produtores mundiais de etanol.

Fonte: Pereira (2013).

Para Macedo (2007), o uso do etanol como combustível no Brasil é antigo, e por conta da dependência de importação da gasolina, em 1920 já havia no país a comercialização de combustível composto por 75% de álcool e 25% de éter. O consumo de etanol aumentou de forma gradativa, entretanto, seu uso definitivo como combustível automotivo se deu após as crises mundiais do petróleo em 1973 e 1979 (MACEDO, 2007).

Com a crise do Petróleo em 1973, o governo brasileiro se viu obrigado a tomar medidas que reduzissem a grande dependência ao petróleo importado, neste sentido, foi criado o Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, cujo objetivo era incentivar o uso do etanol como combustível em veículos leves. Apesar do sucesso, o programa sofreu alguns percalços por conta da instabilidade dos preços do açúcar e a grande quantidade de veículos movidos a etanol na década de 80 (MORAES; BACCHI, 2014).

Uma nova crise do petróleo ocorreu em 2003, dando um novo impulso à fabricação de mais carros a álcool pelas indústrias automobilísticas, as quais inovaram e criaram motores com a tecnologia *flex fuel*, o que representou um grande avanço na consolidação do etanol como combustível em veículos leves, uma vez

que são possíveis quaisquer teores da mistura entre gasolina e etanol (EPE, 2018 a).

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA, GNV E ETANOL

Um dos objetivos deste estudo é comparar os combustíveis gasolina, GNV e etanol quanto a critérios diversos, evidenciando as principais vantagens e desvantagens relacionadas ao uso de cada um destes. Neste sentido, nos tópicos seguintes, tais combustíveis são comparados quanto a alguns critérios, tais como: propriedades físicas, desempenho do automóvel, aspectos econômicos e aspectos ambientais.

2.4.1 Propriedades físico-químicas

As propriedades físico-químicas de um combustível dizem muito sobre as características do mesmo e além de caracterizá-lo, permitem uma análise da sua viabilidade de uso como combustível. Neste sentido, propriedades como poder calorífico, relação estequiométrica ar-combustível, composição química, dentre outras, são fatores que devem ser considerados na opção de escolha por um determinado combustível.

Na Tabela 6, são apresentadas as principais propriedades físico-químicas dos combustíveis gasolina, GNV e etanol.

Tabela 5 – Principais propriedades físico-químicas da gasolina, GNV e etanol.

PROPRIEDADE	COMBUSTÍVEL		
	Gasolina	GNV	Etanol
Fórmula química	C ₈ H ₁₈	CH ₄	C ₂ H ₅ OH
Peso molecular (g/mol)	144	16	46
% carbono em peso	84	75	52
Densidade a 20 °C (kg/m ³)	750	0,766	789
Poder calorífico (kcal/kg)	10,40	5,33	6,65
Relação ar-combustível	14,7 : 1	17,1 : 1	8,9 : 1
Calor específico (kJ/kg)	34900	32870	26700
Temperatura de autoignição (°C)	367	482	580
Ponto de fulgor (°C)	- 43	-140	16,6
Entalpia de combustão (kJ/mol)	- 5500	- 900	- 1400
Octanagem (IAD)	87	120	110
Calor latente de vaporização (cal/g)	71 - 81	121,9	200

* principal componente do GNV

Fonte: Bizzo (2003); Menezes et al. (2015); Paula e Aiello (2016).

Com base nos dados apresentados na Tabela 6, observa-se que dentre os três combustíveis comparados, a gasolina é o que libera maior quantidade de energia por massa de combustível queimado, ou seja, é o combustível mais energético, seguido pelo etanol e GNV. Apesar de a gasolina apresentar o maior poder calorífico, a viabilidade econômica de opção por esse combustível deve levar em consideração seu preço no mercado, bem como o rendimento do automóvel no que diz respeito à quilometragem por litro de combustível (MELO; SAMPAIO, 2014).

A relação estequiométrica ar-combustível é outra propriedade de grande importância a ser observada no funcionamento de um motor a combustão interna. Tal parâmetro revela a estequiometria da combustão, evidenciando a relação entre a massa do combustível e a massa de ar necessária para que ocorra a combustão completa. Desta forma, a relação ar-combustível é um parâmetro que serve de referência durante o funcionamento do motor (PAULA; AIELLO, 2016).

2.4.2 Desempenho do automóvel

O tipo de combustível é um dos fatores que influenciam no desempenho do veículo, de forma que, a depender do combustível utilizado, aspectos como quilometragem, potência, torque e aceleração podem ser alterados. Neste sentido, ao se optar pela escolha de um determinado combustível, além do preço, deve-se considerar sua influência sobre o desempenho do automóvel (CARNEIRO, 2011).

Na análise do desempenho do automóvel, o rendimento e desempenho do motor são fatores essenciais, uma vez que, cada combustível tem as suas características particulares, havendo assim diferenças no que diz respeito à eficiência e rendimento do motor (VALIANTE, 2006). Sendo assim, há diversos estudos científicos avaliando a influência do tipo do tipo de combustível sobre o desempenho do veículo.

Wagner Júnior (2014) avaliou o desempenho de um automóvel utilizando-se gasolina, GNV e etanol como combustíveis. Para tanto, foram realizados testes avaliando a potência e o torque do motor promovido por cada um desses combustíveis. Os resultados revelaram um melhor desempenho do etanol em todos os parâmetros avaliados. O autor atribuiu o desempenho superior do etanol à alta octanagem observada para este combustível, além de seu maior calor latente de vaporização, os quais possibilitam uma maior geração de potência ao motor do carro.

A Tabela 7 apresenta os principais resultados obtidos no referido estudo.

Tabela 6 – Resultados da avaliação do desempenho do automóvel quanto ao uso de gasolina, GNV e etanol.

VARIÁVEL	COMBUSTÍVEL		
	Gasolina	GNV	Etanol
Potência média do motor (cv)	92,67	81,25	106,50
Potência média na roda (cv)	71,95	62,67	88,77
Torque médio do motor (kgf.m)	15,20	11,78	16,67
Velocidade média máxima (km/h)	118,42	117,90	121,02

Fonte: Wagner Júnior (2014).

Segundo Menezes et al. (2015), a perda de potência do motor movido a GNV é decorrente do menor poder calorífico deste combustível, bem como da perda calórica no momento da explosão. A combustão é mais lenta neste combustível, uma vez que o mesmo apresenta uma maior taxa estequiométrica ar-combustível, além de ter sua ignição por centelha comprometida. (WAGNER JÚNIOR, 2014).

Embora o etanol tenha resultado num desempenho maior do veículo, Pereira, Lima e Silva (2016), aponta que dependendo da qualidade o etanol pode apresentar efeitos corrosivos e afetar o funcionamento do motor, comprometendo assim o desempenho do automóvel.

Valiante (2006) avaliou a viabilidade da conversão de veículos movidos à gasolina e a etanol, para o sistema GNV. Para tanto, analisou a influência dos combustíveis gasolina, GNV e etanol sobre o desempenho de veículos de passeio com motores à gasolina usando gasolina, à gasolina usando GNV, à etanol usando etanol e à etanol utilizando o GNV, os principais resultados dos testes são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 – Resultados da avaliação do desempenho de automóveis antes e após conversão para GNV.

VARIÁVEL	COMBUSTÍVEL			
	Gasolina Gasolina	Gasolina GNV	Etanol Etanol	Etanol GNV
Potência máxima (cv)	90	76	96	84
Rotação de potência máxima (rpm)	5.250	5.250	5.000	5.500
Torque máximo do motor (kgf.m)	14,9	12,1	15,9	13,6
Rotação de torque máximo (rpm)	2.750	3.000	3.000	2.500
Velocidade máxima (km/h)	171	165	178	171
Tempo de Aceleração 0-100 km/h (s)	12,8	15,4	11,5	13,4

Fonte: Valiante (2006).

2.4.3 Aspectos econômicos

O preço é um dos principais fatores a serem avaliados na escolha de um determinado combustível. Neste sentido, os veículos *flex* apresentam uma grande

vantagem, uma vez que a escolha do combustível a ser consumido nesses veículos pode ser determinada no momento do abastecimento, levando-se em consideração o preço de cada um dos combustíveis e a relação de paridade dos custos operacionais (NOGUEIRA; HOLLANDA, 2016).

No Brasil, em geral os preços dos combustíveis dependem da cotação do real e dos preços do petróleo e seus derivados no mercado internacional. Desta forma, o mercado interno e a precificação dos combustíveis comercializados em nosso país são ainda dependentes do mercado externo e está, ainda que parcialmente, sujeito às pressões e tensões geopolíticas. Contudo, a produção do etanol em larga escala em solo brasileiro, diminui consideravelmente a dependência do mercado externo e do consumo de derivados do petróleo (MELO; SAMPAIO, 2014).

A forte influência da elevação dos preços e dependência externa de derivados do petróleo é confirmada, por exemplo, pela criação do Proálcool, programa que foi criado na década de 70, dentre outros motivos, por conta do considerável aumento no preço do petróleo no mercado externo e a previsão do esgotamento das reservas mundiais de petróleo nas próximas décadas (MESQUITA, 2009).

Essa dependência do mercado externo e da cotação do real faz com que no Brasil o preço dos combustíveis apresente muita oscilação, criando por vezes muita insatisfação nos consumidores que visando reduzir seus gastos acabam por optar por outro tipo de combustível, procedendo à conversão do motor para GNV (CARNEIRO, 2011).

Segundo Bastos e Fortunato (2014), na decisão de conversão do veículo para GNV devem ser considerados três pontos importantes: o custo da conversão, a evolução futura do preço do GNV e a possibilidade de escassez desse combustível. Quanto aos custos envolvidos, o autor aponta que o custo médio da conversão para GNV em veículos leves varia entre R\$ 2.500,00 e R\$ 3.600,00, valor este que é rapidamente compensado pela economia com o GNV quando comparado à gasolina e o etanol.

De acordo com Menezes et al. (2015), a conversão para GNV é altamente recomendável e economicamente viável, uma vez que, quanto mais quilômetros rodados pelo veículo, mas rapidamente se dá o retorno do investimento destinado a sua conversão.

Desta forma, a frequente oscilação nos preços do etanol e gasolina, somada às crescentes descobertas de reservas de gás natural em território nacional e a atração econômica, fez com que a procura e demanda por GNV aumentasse consideravelmente nos últimos tempos (MELO; SAMPAIO, 2014).

A viabilidade econômica da escolha pelo GNV pode ser demonstrada comparando-se os gastos com os três combustíveis, gasolina, GNV e etanol, conforme a simulação feita a seguir.

Para tanto, será considerada uma relação de consumo entre gasolina tipo C comum, GNV e etanol, para um veículo leve, respectivamente, 12 km/m³, 10 km/L e 7,5 km/L e que o valor desses combustíveis, em 14/03/2019, é em média de R\$ 5,08 para o litro de gasolina, R\$ 2,89 por m³ de o GNV e R\$ 3,99 para o litro de etanol (ANP, 2019).

Considerando-se o preço atual dos combustíveis e o rendimento do veículo em quilometragem por litro, na Tabela 9, são apresentados os custos mensais observados para um veículo que percorre diariamente em média 200 km, com cada um dos três combustíveis em questão.

Tabela 8 – Estimativas de custos para cada um dos combustíveis.

COMBUSTÍVEL	RENDIMENTO	CONSUMO DIÁRIO	PREÇO UNITÁRIO*	GASTO DIÁRIO	CUSTO MENSAL
Gasolina	10 km/L	20 L	R\$ 5,08	R\$ 101,60	R\$ 3.048
GNV	12 km/m ³	16,7 m ³	R\$ 2,89	R\$ 48,26	R\$ 1.447,8
Etanol	7,5 km/L	26,7 L	R\$ 3,99	R\$ 106,53	R\$ 3.195,9

Fonte: Autoria própria (2019).* Preços correspondentes aos valores médios no Brasil, segundo ANP.

Conforme revela os dados da Tabela 9, dentro do contexto analisado o GNV é o combustível que envolve o menor custo mensal, representando uma economia mensal de cerca de 52% quando comparado à gasolina e de 55% quando comparado ao etanol. Observa-se ainda a viabilidade econômica do uso da gasolina frente ao do etanol.

Deve-se ressaltar que a economia é o atrativo principal para quem escolhe pela conversão de veículos para utilização do Gás Natural Veicular, o GNV. Embora ainda possua um custo elevado para os kits de última geração, R\$ 4.000,00 (quatro mil), a transformação pode ter o investimento amortizado em apenas um ano para motoristas que rodam cerca de 1.800 km/mês. (COMGÁS, 2018).

Ultimamente, o Kit GNV de 5ª geração tem sido um dos mais modernos do mercado, trazendo atualizações que reduzem a perda de potência e diminuem a necessidade de manutenção constante. Os cuidados e gastos com a manutenção de um veículo com Kit GNV instalado são, basicamente, os mesmos de um veículo comum (COMGÁS, 2018). Para o sistema de GNV, a recomendação é fazer inspeção do sistema a cada 10 mil km e realizar a troca do filtro de GNV a cada 30 mil km rodados. Também é preciso atentar aos períodos de revalidação de teste hidrostático obrigatório dos cilindros, a cada 5 anos, que deve ser realizado por órgão acreditado pelo Inmetro durante a vida útil do mesmo de 15 anos (COMGÁS, 2018).

Com base nos custos observados, na Tabela 10, é apresentado o custo de cada um dos combustíveis por km rodado.

Tabela 9 – Custo do combustível por km rodado.

COMBUSTÍVEL	R\$/km
Gasolina	0,51
GNV	0,24
Etanol	0,53

Fonte: Autoria própria (2019).

Além do menor custo do combustível, segundo Bastos e Fortunato (2014, p. 174), o GNV apresenta várias vantagens econômicas, tais como: redução do IPVA, menores custos de manutenção, redução de perdas de combustível e menores custos com lubrificantes. Desta forma, em termos econômicos o GNV compete diretamente com a gasolina e o etanol.

2.4.3 Aspectos ambientais

Uma vez que a emissão de poluentes oriundos da queima de combustíveis em motores de combustão interna está diretamente relacionada a graves problemas ambientais, os veículos automotores são fontes móveis de poluição atmosférica (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006).

Os poluentes lançados pelos veículos automotores na atmosfera são oriundos da combustão completa ou incompleta dos combustíveis automotivos e contribuem negativamente com a qualidade do ar, além de oferecer diversos danos à saúde humana. Dentre os principais poluentes gerados pelos veículos automotores cita-se o monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), além dos óxidos de nitrogênio (NO_x). Apesar de ser um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, o gás carbônico (CO₂) não é considerado um poluente (WAGNER JÚNIOR, 2014).

Segundo Teixeira et al (2008), as fontes de emissão de gases por veículos automotores têm influência acentuada na redução da qualidade do ar atmosférico, principalmente em centros urbanos.

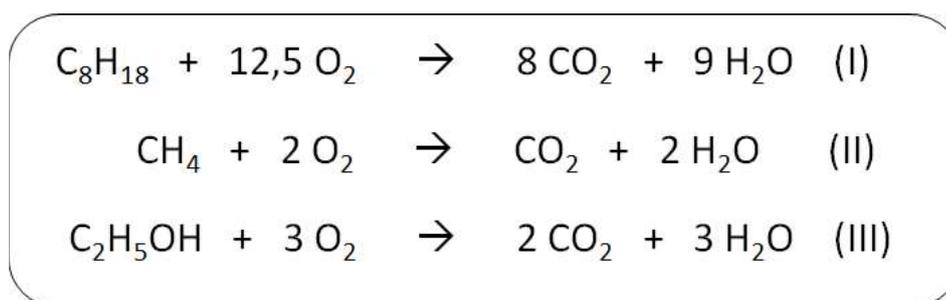
Teixeira et al (2008) relata que os poluentes dispersados pelos veículos a combustão carregam um grande número de variadas substâncias tóxicas que, em contato com o sistema respiratório do corpo humano, podem acarretar vários malefícios a saúde do indivíduo. Essas emissões, incluindo com a queima incompleta do combustível no motor, são compostas de gases como: óxidos de carbono (CO e CO₂), óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, entre esses estão alguns considerados cancerígenos, óxido de enxofre, partículas inaláveis (MP10), entre outras substâncias.

Segundo análise da CETESB (2004), os veículos movidos a combustão interna na região metropolitana de São Paulo são responsáveis pela maior parte dos gases emitidos na atmosfera, onde tem-se 83,2% de CO; 81,4% de HC; 96,3% de NO_x; 38,9% de MP10 e 53% de SO_x, concluindo que estes produzem maior poluição atmosférica que qualquer outra atividade humana e, com isso, se tornam grandes agentes agressores do meio ambiente e da saúde pública.

Considerando-se as particularidades de cada combustível, de acordo com a composição química e qualidade dos mesmos é possível inferir quais oferecem maiores danos ambientais. Com base na estequiometria da combustão, percebe-se que entre gasolina, GNV e etanol, a gasolina é o combustível cuja queima libera maior quantidade de CO₂ na atmosfera, por mol de combustível queimado (DIONYSIO; MEIRELLES, 2016).

Conforme pode ser observado na Figura 8, combustão completa de um mol de gasolina, considerando-se o octano (C₈H₁₈) como principal componente, libera cerca de oito vezes mais CO₂ que a combustão de um mol de GNV, e quatro vezes mais que a combustão de um mol de etanol.

Figura 7 – Equação de combustão completa da gasolina (I), GNV (II) e etanol (III).



Fonte: Dionysio e Meirelles (2016).

Segundo Menezes et al. (2015), em termos ambientais o uso do GNV como combustível demonstra inúmeras vantagens, de forma que sua combustão não produz SO₂, e nem materiais particulados, além de que quando utilizado corretamente tal combustível pode reduzir consideravelmente as emissões de CO e NO_x. Os autores apresentam ainda uma comparação entre o fator de emissão de CO₂ e poluentes para veículos leves utilizando gasolina, GNV ou etanol como combustível, tais valores são apresentados na Tabela 11.

Tabela 10 – Fator de emissão de CO₂ e poluentes para veículos leves de acordo com o combustível.

GASES	COMBUSTÍVEL		
	Gasolina	GNV	Etanol
CO (g/km)	0,38	0,56	0,34
NOx (g/km)	0,039	0,290	0,050
CH ₄ (g/km)	0,014	0,220	0,032
CO ₂ (g/km)	2,269	1,99 x 10 ⁻³	1,233

Fonte: Menezes et al. (2015).

Cabe ressaltar que, embora a combustão do etanol produza maior quantidade de CO₂ que a do GNV, pelo fato do etanol ser um combustível renovável, sua combustão não contribui para o efeito estufa, uma vez que todo o CO₂ emitido pela queima do etanol é consumido no processo de cultivo da cana de açúcar (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

3 CONCLUSÃO

A instabilidade dos preços dos combustíveis, bem como a eminente escassez das jazidas mundiais de petróleo tem influenciado na opção de escolha do consumidor por determinados combustíveis, de forma que, no que diz respeito aos custos, o GNV tem se destacado como o combustível mais econômico e diante das frequentes oscilações de preço da gasolina e etanol tem conquistado cada vez mais mercado, dado o considerável aumento do número de veículos leves com conversão para GNV nos últimos anos.

A escolha por um determinado combustível, além de preço, deve levar em consideração outros aspectos importantes, dentre eles o desempenho do veículo, o qual pode variar consideravelmente de acordo com o combustível utilizado. Neste sentido, observa-se que quando comparados, gasolina, GNV e etanol apresentam vantagens e desvantagens como variação de custo, torque e velocidade, cabendo ao consumidor optar pelo que melhor atende suas exigências e necessidades.

Pode-se observar que, o menor desempenho do GNV no tocante à gasolina e etanol, pode ser conferido dentre outros fatores, à combustão mais lenta deste combustível, haja vista uma maior taxa estequiométrica ar-combustível.

Verificou-se, no entanto que, embora o etanol tenha resultado num desempenho maior do veículo, dependendo da qualidade o etanol pode proporcionar efeitos corrosivos e danificar o funcionamento do motor, afetando assim o desempenho do automóvel.

Com base nos dados apresentados, ponderando as diferenças de custo por quilometro rodado e a taxa de emissão de CO₂ por unidade de massa dos combustíveis analisados nessa revisão bibliográfica, tem-se o GNV como o combustível mais apropriado para utilização nos carros de passeio, sendo a alternativa mais em conta do ponto de vista financeiro e com teor de emissão de poluentes inferior a gasolina e álcool.

As perdas de potência tendem a ser rapidamente compensadas pelas novas tecnologias dos KITS GNV.

Os ganhos com a utilização de um combustível menos nocivo ao meio ambiente são sempre um valor inestimável para a humanidade e para as próximas gerações.

4 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. F.; FERRARO, M. C. **Indústria do Gás Natural**: fundamentos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro: Editora Synergia, 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Petróleo, derivados e combustíveis**. Departamento de Pesquisa e Estudos Econômicos – Bradesco. 2019. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_petroleo_e_derivados.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

BASTOS, S. A. P.; FORTUNATO, G. Conversão de veículos flex para o gás natural: problema de escassez e contribuição à sustentabilidade. **Revista RAM**, v. 15, n. 5, p. 171-194, 2014.

BIZZO, W. A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. Departamento de Engenharia Mecânica – UNICAMP, 2003. 163 p. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP0.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

CARNEIRO, F. S. P. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de controle eletrônico de injeção direta de GNV em veículos movidos a gasolina/álcool**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10423/1/2011_FilipeSilvaPereiraCarneiro.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

DANTAS NETO, A. A.; GURGEL, A. **Refino de petróleo e petroquímica**. Curso de curta duração. Departamento de Engenharia Química – UFRN. 2015. Disponível em: <http://www.nupeg.ufrn.br/downloads/deq0370/curso_refino_ufrn-final_1.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

DIONYSIO, R. B.; MEIRELLES, F. V. P. **Combustíveis**: a Química que move o mundo. 2016. CEaD PUC-RJ. Disponível em: <http://web.ccead.pucRio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_combustiveis.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Premissas e custos da oferta de combustíveis no horizonte de 2050**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico_Combustiveis.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Cadernos de Energia EPE**: perspectivas para o etanol no Brasil. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018 a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-300/Cadernos%20de%20Energia%20%20Perspectiva%20para%20o%20etanol%20no%20Brasil\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-300/Cadernos%20de%20Energia%20%20Perspectiva%20para%20o%20etanol%20no%20Brasil[1].pdf)>. Acesso em: 07 jun. 2019.

GALDINO, M. A. E. et al. O contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG**, n. 26, p. 17-25, 2016.

GASNET. O site do gás natural. **Gás natural**. 2012. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gasnatural/gas_completo.asp#gas11>. Acesso em: 07 jun. 2019.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, v. 1, n. 72, p. 6-15, 2007.

GOLDENSTEIN, M.; AZEVEDO, R. L. S. Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da “era do petróleo”? **BNDES Setorial**, v. 1, n. 23, p. 235-266, 2006.

OLIVEIRA, F. O. et al. Screening analysis to detect adulterations in Brazilian gasoline samples using distillation curves. **Fuel**, v. 83, n. 7, p. 917-923, 2004.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

MACEDO, I. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MELLO, D. de. **Caracterização do resíduo sólido formado em motor automotivo à gasolina por meio de técnicas analíticas**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-02062009-131739/pt-br.php>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

MELO, A. S.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 18, n. 1, p. 56-83, 2014.

MENDES, G. **Detecção de adulterações em gasolina e previsão de parâmetros físico-químicos a partir de curvas de destilação associadas a ferramentas quimiométricas**. 2012. 144 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SFSA-8ZKRMX/tese_gisele_mendes.pdf?sequence=1>. Acesso em: 06 jun. 2019.

MENEZES, Y. M. S. et al. **A utilização do GNV frente a outros combustíveis automotivos na Paraíba.** In: I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015. Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Conepetro, 2015. p. 41-50. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_1datahora_30_03_2015_10_48_28_idinscrito_325_583a11bfefff983509000eba4b806c0f.pdf> Acesso em: 09 jun. 2019.

MESQUITA, D. L. **O processo de construção da tecnologia flex fuel no Brasil: uma análise sob a ótica da “plataforma de negócio” (BUSINESS PLATFORM).** 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2231/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_O%20processo%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20da%20tecnologia%20Flex%20Fuel%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MIRANDA, P. E. V. DE. Combustíveis - materiais essenciais para prover energia à nossa sociedade. **Matéria**, v. 18, n. 3, p. 12-15, 2013.

MORAES, M. L.; BACCHI, M. R. P. Etanol: do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, 2014.

NAKABASHI, L.; CARDOSO, A. R.; ARAUJO, S. P. **Combustíveis:** boletim CEPER. 2015. Disponível em: <https://www.fundace.org.br/_up_ceper_boletim/ceper_201505_00129.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 274-280, 2017.

NOGUEIRA, L. A. H.; DE HOLLANDA, J. B. **Reverendo a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis.** 2016. Disponível em: <http://www.inee.org.br/downloads/eficiencia/Paridade_EHE25_INEE.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

PAULA, E. D.; AIELLO, G. S. **Desempenho do motor de combustão interna utilizando diferentes tipos de gasolina e etanol.** 2016. 85 f. Monografia (Graduação Tecnológica em Mecânica Automobilística) – Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia – FATEC, Santo André, SP, 2016. Disponível em: <<http://fatecsantoandre.edu.br/arquivos/TCC352.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

PENIDO FILHO, P. **Os motores a combustão interna:** para curso de máquinas térmicas, engenheiros, técnicos e mecânicos em geral que se interessam por motores. Belo Horizonte: Lemi, 1983.

PEREIRA, J. M. C. A. R. **Segurança e governação climáticas: o Brasil na cena internacional**. 2013. 381 f. Tese (Doutorado em Relações Internacionais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/11802/1/TESE_DOUTORAMENTO_JOANA_CASIRO_PEREIRA_2013.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2019.

PEREIRA, F. C.; LIMA, F. J. S.; SILVA, A. O. A brief review about some aspects of alcohol vehicle fuel and quantitative analysis of chemical species in this energy matrix. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1702-1720, 2016.

PETROBRAS. **Entenda 10 questões sobre a nossa gasolina**. 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/entenda-dez-questoes-sobre-a-nossa-gasolina.htm>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

PETROBRAS. **Gasolina S-50**: manual técnico. 2016. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-gasolina-s-50-petrobras.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

PETROBRAS. **Gasolina**: Informações técnicas. 2019. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-gasolina.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

SCAFI, S. H. F. **Sistema de monitoramento em tempo real de destilações de petróleo e derivados empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. 2005. 214 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 2005. Disponível em: <<http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtIs000378460.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, v. 1, n. 79, p. 47-69, 2007.

VALIANTE, D. **Análise da viabilidade técnica, econômica, ambiental e mercadológica da instalação original de fábrica de sistema de conversão para uso de gás natural em veículos leves movidos a gasolina e/ou álcool**. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-26122014-174836/publico/Diss_DanielValiante.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

WAGNER JÚNIOR, R. L. **Avaliação das emissões e do desempenho do motor de um veículo utilizando biometano, gás natural veicular, etanol e gasolina como combustível veicular**. 2014. 107 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, 2014. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/637/1/2014RogerLuizWagnerJunior.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

TEIXEIRA, E. C; FELTES, S; SANTANA, E. R. R. **Estudo Das Emissões De Fontes Móveis Na Região Metropolitana De Porto Alegre, Rio Grande Do Sul**. Química Nova, Vol. 31, pag 244, 2008.

CETESB. Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. 2004. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, SP.