



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

AÉCIO ALVES ANDRADE

**DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA NOVA PROPOSTA
ENERGÉTICA**

Palmas - TO
2015

AÉCIO ALVES ANDRADE

**DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA NOVA PROPOSTA
ENERGÉTICA**

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia, Área de concentração de Aspectos socioeconômicos de sistemas de agroenergia .

Palmas - TO
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A553d Andrade, Aécio Alves.

DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA NOVA PROPOSTA
ENERGETICA. / Aécio Alves Andrade. – Palmas, TO, 2015.

104 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Agroenergia, 2015.

Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior

1. Diesel renovável. 2. Biotecnologia. 3. Cana-de-açúcar. 4. Matriz
energética. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

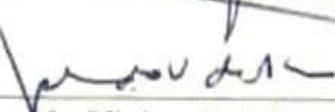
DIESEL DE CANA-DE-AÇUCAR: UMA NOVA PROPOSTA ENERGÉTICA

Aluno: Aécio Alves Andrade

APROVADA EM 08/10/2015



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Presidente- UFT)



Prof. Dr. Yolanda Vieira de Abreu (Examinador Interno - UFT)



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (Examinador Externo)

*A minha filha Ágatha e minha esposa
Simone.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e abençoando, sempre me motivando e me impulsionando.

Ao Professor Dr. Joel Zukowski pela paciência durante o mestrado, que além dos conhecimentos para realizar a dissertação, também meio em muitos momentos não muito bons na minha vida, ele transpareceu sua calma e tranquilidade, isto ajudou a manter-me firme na jornada acadêmica.

Agradeço a Prof^a. Dr^a Yolanda Abreu pelos conhecimentos repassados e por me ensinar a ser mais rigoroso na minha escrita acadêmica e ainda ao Prof. Dr. Juan Carlos Serra por aceitar o nosso convite para a banca da dissertação.

Aos meus pais, Elzilene e Raimundo, por terem investido em mim durante o tempo que convivi ao lado deles e hoje, mesmo longe, ainda me apoiam e me direcionam no caminho certo.

À minha esposa Simone e minha filha Ágatha, que juntas me motivam a buscar sempre o meu melhor, e assim a ser um bom esposo e bom pai.

Aos meus amigos professores do IFTO que me motivaram durante o mestrado, agradeço ainda aos meus colegas do mestrado, em Especial a Giane, Laila, e a Layanni pelo apoio e amizade.

"A Idade da Pedra não acabou pela falta de pedra, e a Idade do Petróleo irá acabar muito antes que o mundo fique sem petróleo". Sheik Ahmed Zaki Yamani, ex-ministro de Energia da Arábia Saudita dos anos 1970.

RESUMO

ANDRADE, A. A. **Diesel de Cana-de-açúcar: Uma Nova Proposta Energética**. 2015. 116f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

O Brasil possui um território com capacidade de haver à expansão da agricultura da cana-de-açúcar, além de ser o país que mais produz cana. O objetivo deste trabalho foi realizar levantamento histórico sobre o Diesel de cana-de-açúcar, focado na questão ambiental, social e energética. A metodologia adotada foi à pesquisa exploratória e a pesquisa explicativa. Os combustíveis *Biofene*, *Ultra Clean* e *Soladiesel* das respectivas empresas Amyris, Ls9 e Solazyme mostraram que possuem potencial de mitigação dos gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. Todos estes combustíveis se enquadram nas normas de utilização nacionais e internacionais. Porém, o Diesel da Amyris não se enquadrou nas normas do PROCONVE e EURO V. O Diesel da LS9 mostrou-se enquadrado nas normas e o Diesel da Solazyme não teve avaliação, por não existir na literatura dados suficientes. Observou-se que o *Biofene* da Amyris, possui uma superioridade em relação à produção por hectare e a autonomia que dá aos veículos em relação ao Biodiesel de soja. Um hectare o Diesel de cana tem produção entre 800% e 1114% superior ao Biodiesel de soja, dependendo da tecnologia de produção. Quanto à autonomia varia de 800% a 1121% maior que o Biodiesel. O que definirá se o Brasil investirá ou não nestas parcerias serão seus interesses políticos, pois se trata de uma *commodity*, sendo assim todos os benefícios ambientais, sociais, energéticos e também políticos deverão ser analisados para esta tomada de decisão.

Palavras - chaves: Diesel renovável. Biotecnologia. Cana-de- açúcar. Matriz energética.

ABSTRACT

ANDRADE, A.A. **Diesel From Sugarcane: A New Proposal Energy**. 2015. 116f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

Brazil has a territory with the capacity to be the expansion of sugarcane agriculture, besides being the country that produces sugar cane. The aim of this study was historical survey on diesel sugarcane, focused on environmental issues, social and energy. The methodology adopted was the exploratory and explanatory research. The Biofene fuels, Ultra Clean and Soladiesel their respective companies Amyris, LS9 and Solazyme shown that have the potential mitigation of greenhouse gases and air pollutants. All these fuels fit into the norms of national and international use. But the Diesel Amyris did not fit the rules of PROCONVE and EURO V. The Diesel LS9 proved to be framed in the rules and Diesel had no Solazyme evaluation, not enough data exist in the literature. It was observed that the Amyris Biofene, has a superiority over the production per hectare and the autonomy that gives vehicles to soy biodiesel. Diesel one hectare of sugarcane production has between 800% and 1114% higher than soybean biodiesel, depending on the production technology. As for autonomy varies from 800% to 1121% higher than the Biodiesel. What will define whether Brazil will invest or not these partnerships will be their political interests, because it is a commodity, therefore all environmental, social, energy and also politicians should be analyzed for this decision-making.

Key - words: Renewable Diesel. Biotechnology. Sugar Cane. Energy Matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil	35
Figura 2 - Levedura da Cerveja - <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	42
Figura 3 - <i>Escherichia coli</i>	42
Figura 4 - Microalga (<i>Prototheca moriformis</i>) geneticamente modificada para utilização pela empresa Solazyme	43
Figura 5 - Molécula do trans-7,11-Dimethyl-3-methylene-1,6,10-dodecatriene	47
Figura 6 - Processo industrial de obtenção do Diesel de cana-de-açúcar.....	47
Figura 7 - Processo de Estágio Único.....	48
Figura 8 - Esquema simplificado do processo de obtenção do Diesel <i>Ultra Clean</i>	48
Figura 9 - Esquema simplificado do processo de obtenção do Combustível Soladiesel e outros produtos	49
Figura 10 - Planta da Solazyme Bunge no Brasil	50
Figura 11 - Testes com o Diesel de cana em motores Mercedes- Benz Proconve P5.....	60
Figura 12 - Comparação da eficiência do uso da terra com combustíveis renováveis.....	65
Figura 13 - Identificação visual dos ônibus do projeto BRT + Verde.....	69
Figura 14 - Mapa das Plantas de Biodiesel autorizadas por capacidade de produção.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matérias primas utilizadas para produção de Biodiesel no âmbito nacional.	20
Gráfico 2 - Evolução da frota estimada de veículos por categoria	26
Gráfico 3 - Evolução da frota estimada de veículos pesados por categoria	26
Gráfico 4 - Evolução do consumo nacional de Diesel no transporte rodoviário por categoria de veículos.....	27
Gráfico 5 - Emissões de CO por tipo de combustível	28
Gráfico 6 - Emissões de NOx por tipo de combustível	29
Gráfico 7 - Emissões de MP por combustão por tipo de combustível.....	29
Gráfico 8 - Emissões de NMHC por tipo de combustível	30
Gráfico 9 - Emissões de CH ₄ por tipo de combustível	30
Gráfico 10 - Emissões de N ₂ O por tipo de combustível.....	31
Gráfico 11 - Emissões de CO ₂ por tipo de combustível	31
Gráfico 12 - Demanda total de energia do setor transporte de 2010 a 2050.	32
Gráfico 13 - Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar em milhões de toneladas.....	36
Gráfico 14 - Série histórica da área plantada dos principais países produtores de cana-de- açúcar, em milhares de hectares.	37
Gráfico 15 - Curvas de destilação de amostras de Diesel, farneseno, Biodiesel, F20D80 e F20D50B30	54
Gráfico 16 - Curvas TG para amostras de combustível com taxa de aquecimento de 5,0 °C min ⁻¹	55
Gráfico 17 - Curvas DTG das amostras de combustível com taxa de aquecimento de 5,0 °C min ⁻¹	55
Gráfico 18 - Resultado das emissões no Ciclo Europeu em Regime Transiente - ETC.....	59
Gráfico 19 - Comparação do rendimento médio dos veículos nos três cenários com Diesel de cana e Diesel comum.....	70
Gráfico 20 - Curvas de destilação de amostras de Diesel de cana e Diesel S50	71
Gráfico 21 - Energias de ativação (Ea) para as conversões entre 0,1 e 0,9 do processo de combustão do Diesel de cana-de-açúcar e Diesel S50	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poluentes considerados neste Inventário.....	24
Tabela 2 - Categorização da frota de veículos.....	25
Tabela 3 - Valores médios de quilometragem por litro para veículos do ciclo Diesel.....	27
Tabela 4 - ZAE CANA no Brasil: Quadro resumo.....	34
Tabela 5 - Síntese das áreas aptas para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, considerando as classes de aptidão agrícola e os tipos de uso da terra predominantes em 2002.....	34
Tabela 6 - Área plantada e área colhida de cana-de-açúcar para todos os fins, por ano civil ..	35
Tabela 7 - Taxonomia da <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	42
Tabela 8 - Classificação da <i>Escherichia Coli</i>	43
Tabela 9 - Classificação do <i>Prototheca moriformis</i>	44
Tabela 10 - Propriedades Físico-Químicas do Farneseno.	51
Tabela 11 - Propriedades Físico-Químicas do farneseno.	52
Tabela 12 - Propriedades Físico-Químicas das amostras puras.....	52
Tabela 13 - Principais Propriedades de combustíveis de testes.....	53
Tabela 14 - Principais propriedades do combustível LS9 em relação ao Diesel de petróleo...	57
Tabela 15 - Principais propriedades do combustível LS9 em relação ao Biodiesel de óleos tradicionais	57
Tabela 16 - Atendimento aos limites de emissão de poluentes atmosféricos.....	61
Tabela 17 - Testes Preliminares com Ciclo Europeu em Regime Constante (ESC)	62
Tabela 18 - Testes Preliminares com Ciclo Europeu em Regime Transiente (ETC)	63
Tabela 19 - Teste Ciclo Europeu de Resposta em Carga (ELR)	63
Tabela 20 - Detalhamento das amostras de combustíveis analisadas.....	68
Tabela 21 - Síntese da análise das tecnologias em função do custo operacional.	73
Tabela 22 - Especificação do Biodiesel.....	90
Tabela 23 - Especificações do óleo diesel de uso rodoviário	92
Tabela 24 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves de Passageiros	95
Tabela 25 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves Comerciais - massa referência para ensaio menor que 1700 kg	95
Tabela 26 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves Comerciais - massa referência para ensaio maior que 1700 kg	96

Tabela 27 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)	96
Tabela 28 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ETC).....	97
Tabela 29 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)	97
Tabela 30 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases "L").....	98
Tabela 31 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos pesados (Fases "P") ...	99
Tabela 32 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo leve – valores percentuais.....	101
Tabela 33 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo médio – valores percentuais	101
Tabela 34 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo pesado – valores percentuais	101
Tabela 35 - Comparação das tecnologias consideradas nos estudos de COPPE (2012)	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMD	Diesel de Cana-de-açúcar
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEN	Balanço Energético Nacional
BRT	Bus Rapid Transit
CEIB	Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel
CHO	Carbono, Hidrogênio e Oxigênio
CH₄	Metano
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia
CP	Cloud Point
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
DOE	Departamento de Energia
DTG	Termogravimetria Derivada
EUA	Estados Unidos da América
ELR	Ciclo Europeu de Resposta em Carga
EPA	U.S. Environmental Protection Agency ou ou Agência de Proteção Ambiental do Estado Unidos.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETC	Ciclo Europeu em Regime Transiente
ESC	Ciclo Estacionário Europeu
FAME	Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
FINAME	Financiamento de máquinas e equipamentos
F20D80	20% de Farneseno e 80% de Diesel
F20D50B30	20% de Farneseno, 50% de Diesel e 30% de Biodiesel
GEE	Gases de Efeito Estufa
GM	Geneticamente Modificada
IPO	Initial Public Offering
JV	Joint Venture
LS9	Life Sustain 9-Billion ou Sustentar a Vida de 9 bilhões
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia,
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério e Minas e Energia
MP	Material Particulado

NB-1	Nível de Segurança 1
NMHC	Hidrocarbonetos não metano
NOx	Óxidos de Nitrogênio
N₂O	Óxido Nitroso
NREL	Laboratório Nacional de Energia Renovável
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PAISS	Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PROALCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROBIODIESEL	Programa Brasileiro de Biodiesel
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRÓ-ÓLEO	Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
ppm	Partes por Milhão
P7D_AMD10	Veículo convencional, motor dianteiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de Diesel de cana)
P7P_AMD10	Veículo padron, motor traseiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de Diesel de cana).
RCHO	Aldeídos
SPTrans	São Paulo Transporte
tep	Tonelada equivalente de petróleo
THC	Hidrocarbonetos Totais
TGA ou TG	Análise Termogravimétrica
ULSD	Ultra-low-sulfur Diesel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	PROBLEMA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	17
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	HISTORICIDADES DAS FONTES RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	18
2.2	A ENERGIA RENOVÁVEL EXTRAÍDA DOS ÓLEOS VEGETAIS.....	20
2.3	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EXIGIDAS NAS NORMAS NACIONAIS DE COMBUSTÍVEIS.....	21
2.3.1	<i>Teor de enxofre</i>	21
2.3.2	<i>Ponto de fulgor</i>	21
2.3.3	<i>Massa específica</i>	21
2.3.4	<i>Número de cetano</i>	21
2.3.5	<i>Ponto de névoa, ponto de entupimento de filtro a frio e ponto de fluidez</i>	22
2.3.6	<i>Viscosidade cinemática</i>	22
2.3.7	<i>Poder calorífico</i>	22
2.4	LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES.....	23
2.4.1	<i>Projeções para o Diesel</i>	32
2.5	POTENCIAL DE EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	33
2.6	ORIGEM DO DIESEL DE CANA.....	37
2.6.1	<i>Amyris no mercado de Diesel de cana-de-açúcar</i>	37
2.6.2	<i>Atuação da Solazyme no Brasil</i>	39
2.6.3	<i>Atuação da Ls9</i>	40
2.7	O AUXÍLIO DA BIOTECNOLOGIA.....	41
3	METODOLOGIA.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1	PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DO DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	46
4.1.1	<i>Biofene, o Diesel de cana da Amyris</i>	46
4.1.2	<i>Ultra Clean, o Biodiesel da Ls9</i>	48
4.1.3	<i>Soladiesel, o Diesel da Solazyme</i>	49
4.2	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	51
4.2.1	<i>Propriedades Físico-Químicas do Biofene</i>	51
4.2.2	<i>Propriedades Físico-Químicas do Ultra Clean Tm Diesel, o Biodiesel da Ls9</i>	56
4.2.3	<i>Propriedades Físico-Químicas do Soladiesel, o Diesel da Solazyme</i>	57
4.3	O DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR E O MEIO AMBIENTE.....	58
4.3.1	<i>Amyris (Biofene)</i>	58
4.3.2	<i>LS9 (Ultra Clean Diesel™)</i>	61
4.3.3	<i>Solazyme (Soladiesel)</i>	63
4.3.4	<i>Produtividade do Diesel de Cana da Amyris</i>	64
4.4	CONTRIBUIÇÕES SOCIAIS DA UTILIZAÇÃO DO DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	65
4.5	EXPERIÊNCIAS DA UTILIZAÇÃO DO DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77

ANEXO A	90
ANEXO B.....	92
ANEXO C.....	95
ANEXO D	98
ANEXO E.....	99
ANEXO F.....	100
ANEXO G	101
ANEXO H	102

1 INTRODUÇÃO

A Matriz energética de um país mostra dados sobre geração e consumo de energia dos mais variados tipos. O aprimoramento dos tipos de energia utilizados por um país, com o foco na economia, sustentabilidade e segurança energética, pode levar ao desenvolvimento deste país.

A matriz energética brasileira é dividida em fontes renováveis com 39,4% (biomassa da cana, energia hidráulica, lenha e carvão vegetal, lixo e outras) e fontes não renováveis com 60,6% (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral, e o urânio) (BRASIL, 2015d).

Segundo MMA (2015b), a meta de diversos países atualmente é diminuir as emissões de gases do efeito estufa, diminuir a emissão de particulados e desenvolver fontes renováveis de energia, obedecendo assim ao Protocolo de Quioto. O Brasil é um dos poucos países que têm a matriz energética limpa, ou seja, possui vários tipos de energia renovável que ocupam boa parte na matriz energética (BRASIL, 2015d).

A economia de um país está intrinsecamente ligada com a produção e consumo de energia por ele gerada. Na década de 1970 e nos demais anos, o Brasil e o mundo passaram por crises financeiras graves, crises no setor energético internacional e conseqüentemente interferiram diretamente em nossa matriz energética (SOUZA & MACEDO, 2010).

Devido às crises na década de 70, surgiram no Brasil alguns programas governamentais para diminuir a dependência dos derivados de petróleo, como o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo) e o Programa Nacional do Biodiesel (BRASIL, 2007; MATTEI, 2010; SOUZA E MACEDO, 2010).

Atualmente existem várias pesquisas para a produção de energias renováveis, tais como a utilização de óleos vegetais para a produção de Biodiesel, dentre as quais se podem destacar as seguintes matérias primas: soja, amendoim, milho, polpa do dendê, algodão, girassol, maracujá, mamona, babaçu, canola, abacate, linhaça, pinhão-manso, palma, amêndoa do coco de dendê, semente de colza, caroço de oiticica, dentre outras variedades de polpas e amêndoas existentes no Brasil (BIODIESEL 2013; MOURA 2010).

Além das matérias primas supracitadas para a produção de Biodiesel, a partir de 2003 surgiram estudos baseados na engenharia genética para a produção de um combustível que substituísse o Diesel fóssil. Estes combustíveis biotecnológicos têm como matéria prima a

biomassa vegetal, em especial a cana-de-açúcar. As empresas Amyris, Soladiesel e Ls9, estão à frente desta corrida biotecnológica (ALVES e BOMTEMPO, 2012).

O Brasil por ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e possuir um vasto território nacional promissor para cultivá-la, se tornou um país alvo para a produção destes combustíveis (EMBRAPA, 2009; ÉPOCA NEGÓCIOS, 2012; MAPA, 2015).

Na literatura ainda existem poucos materiais sobre este novo combustível, o Diesel de Cana. Em vista de contribuir com dados históricos e atuais sobre a temática, foi idealizado esta pesquisa.

O presente trabalho aborda o tema sobre a implementação do Diesel de cana-de-açúcar e seus impactos na matriz energética brasileira, apresentando neste cenário alguns aspectos socioeconômicos e ambientais.

1.1 Problema

Quais as principais vantagens energéticas, ambientais e sociais dos combustíveis das empresas Amyris, Solazyme e Ls9, para o Brasil?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento histórico sobre o Diesel de cana-de-açúcar, focado na questão ambiental, social e energética.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mostrar os aspectos históricos do surgimento do Diesel proveniente da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo;
- Apresentar os processos industriais de produção do Diesel de cana das empresas Amyris, Ls9 e Solazyme.
- Mostrar as propriedades Físico-Químicas do combustível *Biofene*, *Ultra Clean* e *Soladiesel*, das empresas Amyris, Ls9 e Solazyme, respectivamente;
- Descrever os aspectos ambientais e sociais que serão impactados pela produção e comercialização do Diesel da cana;
- Comparar as especificações dos combustíveis *Biofene*, *Ultra Clean* e *Soladiesel*, com as normas de comercialização brasileiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Matriz energética brasileira sofreu diversas mudanças nas últimas décadas. Novos cenários mundiais foram iniciados com o advento dos combustíveis fósseis e posteriormente com o surgimento dos combustíveis renováveis.

2.1 Historicidades das fontes renováveis na matriz energética brasileira

Durante a década de 70 houve diversos acontecimentos mundiais que desencadearam em mudanças na matriz energética brasileira. Os mais importantes estão descritos, juntamente com a sequência temporal.

Em 1973, ocorreu o primeiro choque do petróleo, marcando a nova era econômica mundial devido a novos patamares de preços (MAIA; LEÃO, 2015). Em 1979 aconteceu o segundo choque do petróleo, o Banco Central Americano elevou as taxas de juros, ocasionando num aumento de juros para diversos países latino- americanos, incluindo o Brasil (MAIA; LEÃO, 2015).

No dia 14 de novembro de 1975 foi criado o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), como reação à crise do petróleo (SOUZA E MACEDO, 2010).

Em meados de 1980, ainda num cenário de crise do petróleo, o Brasil estava produzindo apenas 15% do petróleo consumido (MMA, 2015), motivando o governo, através do Conselho Nacional de Energia, a lançar o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo) por meio da Resolução nº 07/1980 (MATTEI, 2010).

Em 1980, o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins energéticos teve a soja como oleaginosa com melhor potencial para produção de Biodiesel. No ano seguinte, 1981, vigorou o amendoim; em 1982 a ênfase foi na colza e girassol; o dendê foi visado em 1986. O governo tinha a meta de produzir 1,6 milhão de metros cúbicos para suprir a demanda energética. Entretanto, já havia fortes indícios da viabilidade econômica (MMA, 2015).

Na década de 1990, houve a retomada por estudos que minimizassem a dependência externa de petróleo e intensificou-se a preocupação ecológica quanto ao uso de combustíveis fósseis (SHINTANI; YASUDA, 2006). Esses fatos motivaram uma reestruturação da matriz energética brasileira, foi instituído o (CNPE) Conselho Nacional de Política Energética e a (ANP) Agência Nacional do Petróleo através da lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Onde o primeiro órgão está vinculado a Presidência da República, possuindo a atribuição de propor

medidas e política nacionais para o setor petrolífero. A ANP é uma entidade que faz parte da administração federal indireta, funciona como órgão que regula as indústrias do setor petrolífero, gás natural, derivados do petróleo e também os biocombustíveis (BRASIL, 1997).

No ano de 2002, foi publicada a portaria nº 702, de 30 de outubro do (MCT) Ministério de Ciência e Tecnologia, que cria o PROBIODIESEL - Programa Brasileiro de Biodiesel, que objetivava a redução da dependência do petróleo e a mitigação de compostos gasosos maléficos ao meio ambiente, resultando assim numa possibilidade em atender as regras do protocolo de Kyoto (MATTEI, 2010; BRASIL, 2015a).

A Presidência da República através de um decreto instituiu no dia 02 de julho de 2003 um Grupo de Trabalho Interministerial. Este grupo tinha a função de realizar estudos de viabilidade de utilização do Biodiesel como biocombustível renovável. O produto deste trabalho foi um relatório destinado à Presidência da República para equacionar o (PNPB) Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, assim seria possível estabelecer ações estratégicas para o Brasil. Em 31 de março de 2004 a (CEIB) Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel aprovou o plano de trabalho norteador das ações do PNPB. Meses depois, em 06 de dezembro, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva lançou oficialmente o Programa e concomitantemente lançou o Marco Regulatório que estabeleceria as condições legais para a inclusão do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira (BRASIL, 2015b; 2015c).

O Biodiesel está definido na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, como sendo um

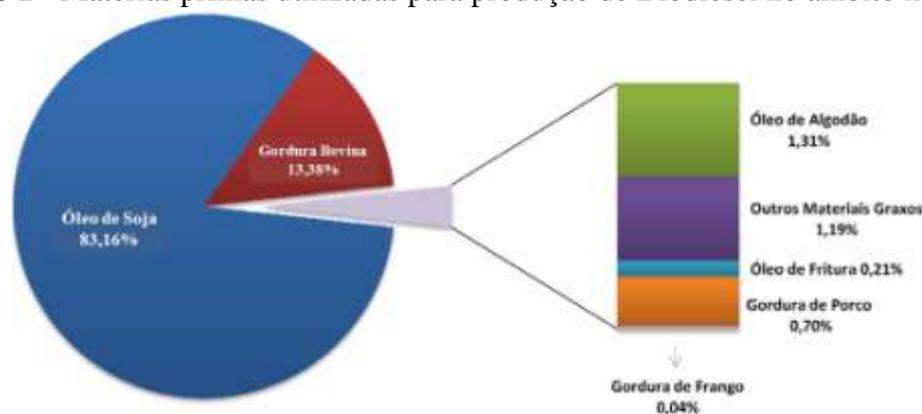
biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005, p.08).

Segundo Brasil (2014b), foi publicada em 25 de setembro, a Lei nº 13,033, a qual determina novos percentuais de adição obrigatória de Biodiesel ao Diesel fóssil, onde a mistura será comercializada em todo o território nacional. A Lei estabeleceu que a partir de julho de 2014, 6% de volume de Biodiesel no Diesel. E a partir de 1º de novembro passaria para a mistura (B7), denominada assim por ter 7% de Biodiesel em 93% de Diesel.

De acordo com o Boletim Mensal do Biodiesel, para o mês de agosto de 2015, a quantidade de plantas produtoras de Biodiesel autorizadas pela ANP é de 55. Elas possuem uma capacidade total autorizada de 20.488,51 m³/dia. Todas elas podem ser melhor visualizadas no ANEXO F (ANP, 2015).

Ainda segundo ANP (2015), as matérias - primas utilizadas para a produção de Biodiesel estão divididas de acordo com o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Matérias primas utilizadas para produção de Biodiesel no âmbito nacional.



Fonte: (ANP, 2015)

Nota-se Gráfico 1 que grande parte (83,16%) da produção de Biodiesel é proveniente do óleo de soja, em segundo lugar aparece a gordura bovina com 13,38% da fatia nacional de produção, as outras matérias-primas são o óleo de algodão (1,31%), óleo de fritura (0,21%), gordura de porco (0,70%) e outros materiais graxos que compõem 1,19% da produção nacional.

2.2 A energia renovável extraída dos óleos vegetais

A utilização da biomassa como fonte de energia renovável está sendo há décadas como um propulsor da dependência energética de vários países incluindo o Brasil. Os recursos renováveis provenientes de matéria orgânica tanto animal ou vegetal, podem ser denominados como biomassa caso sejam usados na produção de energia (MME, 2015; ANEEL, 2005). Outra definição é "qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa" (ANEEL, 2008, p.67).

No Brasil existem condições geográficas extremamente favoráveis para a produção de biomassa, podendo assumir uma posição de destaque mundial na produção e na utilização como recurso energético. A grande quantidade de terras cultiváveis, em conjunto com o clima favorável e solos férteis, favorecem a produção de biomassa (MME, 2015). Aquelas que produzem óleos vegetais foram destaques em programas de energia renovável, devido a inúmeras vantagens, como apoio a agricultura familiar, potencializando variedades de cultivos regionais e proporcionando a resolução de problemas econômicos - sócios - ambientais (RAMOS *et al.*, 2003).

Existem várias pesquisas para a produção de energias renováveis, tais como a utilização de óleos vegetais para a produção de Biodiesel, dentre as quais se podem destacar as seguintes matérias-primas: soja, amendoim, milho, polpa do dendê, algodão, girassol,

maracujá, mamona, babaçu, canola, abacate, linhaça, pinhão-manso, palma, amêndoa do coco de dendê, semente de colza, caroço de oiticica, dentre outras variedades de polpas e amêndoas existentes no Brasil (BIODIESEL, 2013; MOURA, 2010).

2.3 Propriedades Físico-Químicas exigidas nas normas nacionais de combustíveis

Nesta sessão serão abordados alguns parâmetros Físico-Químicos exigidos nas normas nacionais e internacionais para uma boa qualidade dos combustíveis fósseis e os renováveis.

2.3.1 Teor de enxofre

A presença de enxofre no petróleo é uma das causas de muitos males que a população sofre, pois mesmo após o refino, ainda tem presença significativa no Diesel de petróleo. Quando ocorre a combustão do Diesel, liberam-se compostos óxidos de enxofre para a atmosfera. Quanto menor a presença de enxofre no Diesel, menor será o desgaste de cilindros e anéis; os depósitos no motor também são diminuídos, juntamente com as emissões para o meio ambiente (ÓLEO DIESEL, 2015).

2.3.2 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a temperatura mínima onde é observado o desprendimento de vapores numa quantidade suficiente, que proporcione à mistura deste vapor com o ar, e em contato com uma fonte de ignição origine uma chama (CETESB, 2015).

2.3.3 Massa específica

Segundo Weberdemenezes *et al.* (2006) e Aleme (2011), a massa específica mínima de um combustível é justificada por proporcionar um máximo desempenho de energia para o motor, com controle de fluxo na bomba de injeção. Este valor mínimo ainda impede a emissão de grandes quantidades de monóxido de carbono, materiais particulados, dentre outros compostos. Caso o combustível tenha valores de massa específica muito baixa, ocasionará uma mistura pobre, gerando uma perda de potência do motor e elevando o consumo de combustível.

2.3.4 Número de cetano

O número de cetano ou índice de cetano indica pela sua quantidade, se o tempo de ignição será curto ou longo. Quanto maior a quantidade de cetano, menor será o tempo de

resposta da ignição. O hexadecano (cetano) foi padronizado como 100 na escala de cetano, pelo fato de não possuir ramificações. Na medida em que as ramificações vão aumentando, o número de cetano vai diminuindo. O menor valor será 15 atribuído ao 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonano (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009 e LIMA, 2012).

2.3.5 Ponto de névoa, ponto de entupimento de filtro a frio e ponto de fluidez

A temperatura de um combustível que começa a cristalizar chama-se ponto de névoa (*Cloud Point* - CP). A formação desses cristais influencia negativamente o sistema de alimentação do motor e o entupimento do filtro de combustível. A presença de cristais afeta na fluidez do combustível, podendo resultar em problemas na partida do motor (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009 e COSTA NETO *et al.*, 2000).

2.3.6 Viscosidade cinemática

A viscosidade é uma propriedade fluido dinâmica dos combustíveis fósseis e renováveis, ela interfere no desempenho dos motores Diesel de injeção por compressão, onde influenciam na circulação e principalmente na injeção do combustível (UNIVERSO AMBIENTAL, 2015).

Segundo Teixeira, Colaço e Caldeira (2013), o processo de atomização do combustível é influenciado diretamente pela viscosidade, ou seja, a viscosidade e o tamanho das gotas de spray do combustível dentro da câmara de combustão são grandezas diretamente proporcionais. Deste modo, em gotas grandes resultam em misturas com qualidade baixa ocasionando uma queima lenta e diminuindo a eficiência da combustão.

As normas nacionais têm valores específicos de viscosidade, (ANEXO A e B), para o Diesel e o Biodiesel. Essa regulamentação é necessária para manter uma uniformidade entre os combustíveis no país e incentiva as montadoras de veículos a investirem nos seus motores, para melhorar o desempenho do motor independente da região do país onde esteja.

2.3.7 Poder calorífico

O trabalho realizado por um motor de combustível é originário da energia liberada pela combustão por unidade de massa do combustível. Esse quociente entre energia e massa denomina-se Poder Calorífico. Ele indica o potencial de consumo de um combustível (DIB, 2010; PARENTE, 2003).

2.4 Legislações ambientais sobre as emissões de poluentes

Para este estudo é imprescindível conhecer um programa fundamental, criado pelo (CONAMA) Conselho Nacional do Meio Ambiente, para a redução das emissões no Brasil e que regulamenta as exigências tecnológicas para veículos automotores, o (PROCONVE) Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (IBAMA, 2015).

O PROCONVE foi criado pela Resolução CONAMA nº 18/1986, o qual foi complementado pela Resolução CONAMA nº 08/1993, que estabelecia limites máximos para emissões de compostos do efeito estufa, para motores de veículos pesados, nacionais e também importados (IBAMA, 2011).

De acordo com IBAMA (2011), o PROCONVE determina o controle de emissão de poluentes a partir de uma classificação de veículos automotores, os quais são caracterizados em quatro tipos:

1 - Veículo Leve de Passageiros (Automóveis): Veículo automotor que possui 3.856 kg de massa máxima e 2.720kg de massa em ordem de marcha, o qual é projetado para transportar no máximo 12 pessoas ou derivados para o transporte de carga.

2 - Veículo Leve Comercial (Utilitários): Veículo não derivado dos veículos leves de passageiros, que foi projetado para transportar cargas ou misto e seus derivados, com capacidade para mais de 12 pessoas ou pode possuir características especiais para utilização fora da estrada.

3 - Veículo Pesado (Ônibus e Caminhão): Veículo que possui 3.856 kg de massa máxima ou 2.720 kg de massa por ordem de marcha, que foi projetado para transportar passageiros e/ou cargas.

4 - Veículo de Duas Rodas: Veículo ciclomotor, motocicletas e assemelhados.

As tabelas do PROCONVE que determinam os limites máximos de emissão de poluentes encontram-se no ANEXO C.

Com a criação do PROCONVE/ PROMOT obteve-se resultados significativos para o Brasil, como: o aumento na modernização do setor automotivo brasileiro, além de atualizações das tecnologias e também de seu desenvolvimento. Outros resultados foram o aperfeiçoamento da qualidade dos combustíveis utilizados em automóveis e capacitação da mão de obra técnica, tornando-a especializada. Quanto à geração de empregos, cresceu significativamente, assim como a diversificação do parque industrial brasileiro e principalmente conseguiu reduzir em até 97% as emissões de poluentes na fonte (IBAMA, 2011).

Para efeito de comparação do antes e depois da implantação do programa, as emissões médias de CO (monóxido de carbono) de um veículo era 54 g/km, atualmente esse índice é de 0,375 g/km. Essa extrema diminuição foi necessária para hoje se ter um melhor controle nas poluições atmosféricas e uma melhor qualidade de ar, pois houve um aumento significativo na frota veicular (IBAMA, 2011; 2015).

Em 2011, foi implementado o Programa Nacional de Inventários de Fontes Poluidoras do Ar, onde foi publicado neste mesmo ano o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, o qual fez estimativas das emissões nacionais de poluentes atmosféricos e também de gases de efeito estufa, ambos provenientes do segmento de transportes de cargas e passageiros (MMA, 2013).

Este inventário foi criado para contribuir e acompanhar os resultados do PROCONVE e do (PRONAR) Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar.

Na Tabela 1, estão todos os poluentes considerados no Inventário, distribuídos pelos tipos de veículos e motorização.

Tabela 1 - Poluentes considerados neste Inventário

Poluentes	Automóveis e comerciais leves do ciclo Otto		Motocicletas		Veículos do ciclo Diesel	Veículos a GNV
	Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado		
Emissões de escapamento						
Monóxido de carbono (CO)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Óxidos de nitrogênio (Nox)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Material Particulado (MP)*	✓	□	✓	□	✓	□
Aldeídos (RCHO)	✓	✓	□	□	□	✓
Hidrocarbonetos não-metano (NMHC escap)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Metano (CH ₄)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dióxido de carbono (CO ₂)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Emissões evaporativas (NMHC escap)	✓	✓	□	□	□	□
Emissões de desgastes de freios e pneus (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Emissões por desgaste de pista (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Material particulado gerado pela queima de combustíveis
Fonte: MME (2013).

Outro aspecto abordado no inventário e que será demasiadamente utilizado neste estudo, é a categorização da frota de veículos, em MME (2013) os veículos pesados eram classificados como leves, médios e pesados, foram introduzidas novas subdivisões: os semileves e semipesados. Essa classificação é utilizada atualmente pela (ANFAVEA)

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Outra mudança foi dos veículos leves a Diesel, onde a partir do ano - modelo 2009 passaram a ser diferenciados quando homologados como veículos pesados ou leves. Houve também a inclusão dos micro-ônibus na classificação dos ônibus. Todas as mudanças podem ser analisadas na Tabela 2, a qual mostra todas as categorias de veículos juntamente com sua motorização.

Tabela 2 - Categorização da frota de veículos

Categoria	Motor
Motocicletas	Otto / Gasolina
	Otto / Flex Fuel
Automóveis	Otto / Gasolina
	Otto / Etanol
	Otto / Flex Fuel
	Otto/ GNV
Comerciais Leves	Otto / Gasolina
	Otto / Etanol
	Otto / Flex Fuel
	Diesel
Micro-ônibus	Diesel
Ônibus urbanos	Diesel
Ônibus rodoviários	Diesel
Caminhões Semileves (PBT>3,5t.<6t.)	Diesel
Caminhões leves (PBT≥6t.<10t.)	Diesel
Caminhões médios (PBT≥10t.<15t.)	Diesel
Caminhões semipesados (PBT≥15t.; PBTC <40t.)	Diesel
Caminhões pesados (PBT≥15t.; PBTC≥ 40t.)	Diesel

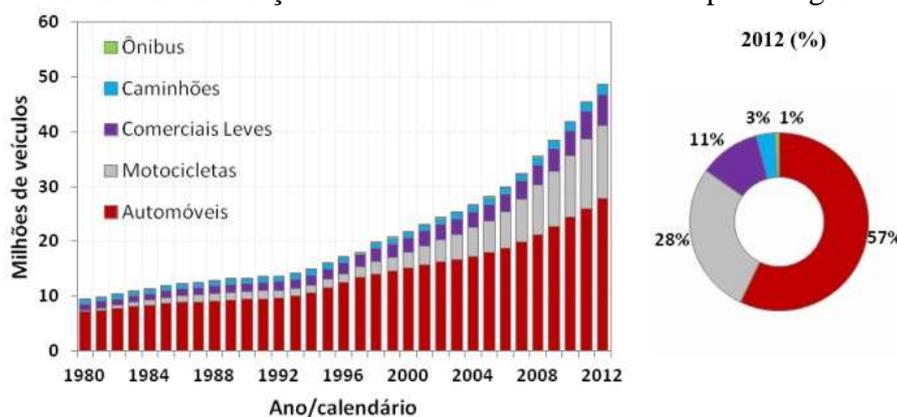
Fonte: MME (2013).

Analisando os dados de MMA (2013), percebe-se a motivação das três empresas estudadas neste trabalho. Nota-se que a elevação no aumento da frota de veículos com motorização a Diesel; aliado a uma forte evolução no consumo de Diesel fóssil e consequentemente a inevitável e expressiva emissão de poluentes e gases de efeito estufa. A busca por combustíveis renováveis é justificada por estes dados, o apelo ambiental é de inegável importância.

No Gráfico 2, fica evidenciado a evolução da frota de veículos por categoria no intervalo de 1980 a 2012, onde no fim deste intervalo teve-se um aumento no número de veículos de aproximadamente 49 milhões, sendo 57% deste valor correspondentes ao número de automóveis, 28 % de motocicletas, 11% de veículos comerciais leves, 3% relativos a caminhões e 1% em relação aos ônibus (MME, 2013). Deve-se frisar que antes de 2009, os

veículos comerciais leves eram homologados como pesados, a partir de 2009 houve um aumento no número de homologações destes veículos para a categoria de leves. Nesse ano, 59% foram homologados como leves, em 2010 passou para 61%, em 2011 para 73% e a partir de 2012, 100% já eram homologados como leves (MME, 2013).

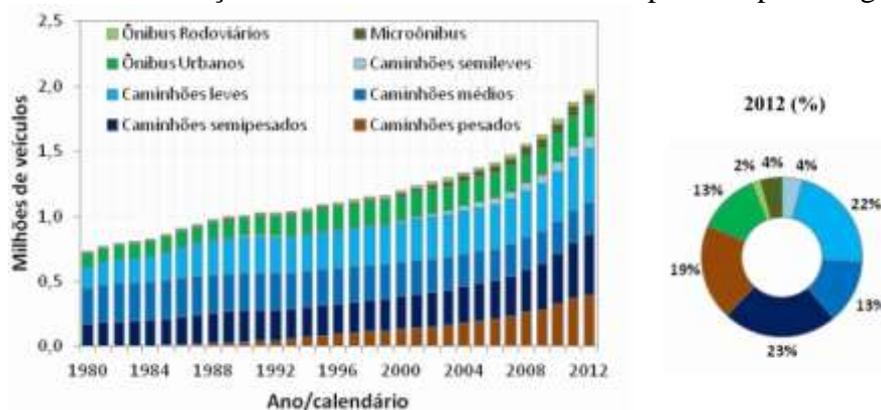
Gráfico 2 - Evolução da frota estimada de veículos por categoria



Fonte: (MME, 2013).

Analisando-se o Gráfico 3 e a Tabela 3 conjuntamente tem-se quase um total de dois milhões de veículos pesados em 2012, dos quais 19% da frota representam os caminhões pesados, os quais consomem 3,4 km/L_{Diesel}; 23% são os caminhões semipesados, os quais consomem também 3,4 km/L_{Diesel}; 1% representam os médios e 22% são os leves, ambos consomem 5,6 km/L_{Diesel}; os caminhões semileves, 4%, são os que têm maior rendimento, com 9,1 km/L_{Diesel}; com 13% da frota de veículos pesados, os ônibus urbanos tem o menor rendimento, com 2,3km/L_{Diesel}; com 2% da frota, os ônibus rodoviários têm autonomia de 3,0 km/L_{Diesel} e com 4% os micro-ônibus têm autonomia de 3,8km/L_{Diesel}. Observa-se ainda no Gráfico 3, que a partir do final da década de 80, como surgimento dos caminhões pesados, estes tiveram um crescimento na frota, enquanto que a de médios ficou menor (MME, 2013).

Gráfico 3 - Evolução da frota estimada de veículos pesados por categoria



Fonte: (MME, 2013).

Levando-se em conta a quilometragem por litro de Diesel, os caminhões pesados possuem um consumo maior de Diesel por quilômetro e consequentemente maior emissão de compostos. Seria interessante o Estado incentivar ainda mais a busca de novas tecnologias e fomentar novas propostas de combustíveis.

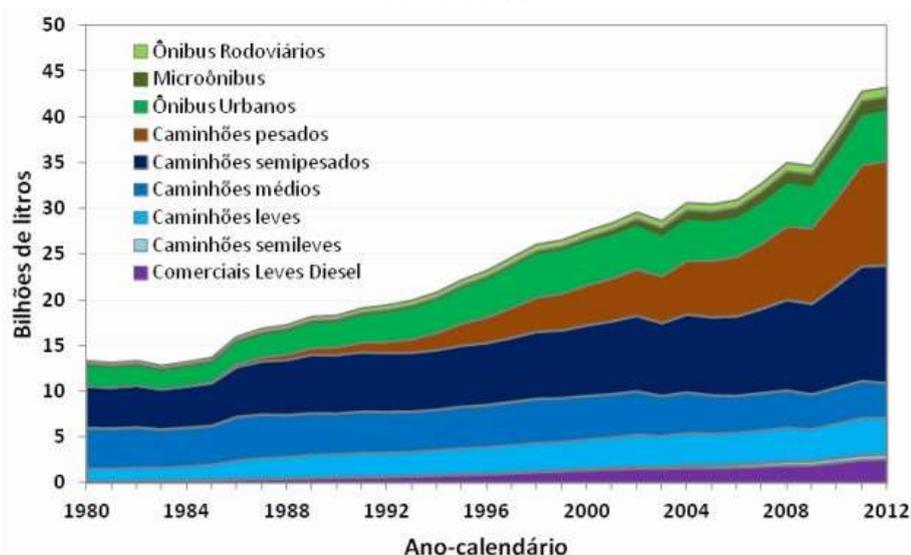
Tabela 3 - Valores médios de quilometragem por litro para veículos do ciclo Diesel

Categoria	Consumo específico de Diesel (L _{Diesel} / 100 km)	Quilometragem por litro de Diesel (km/L _{Diesel})
Caminhões Semileves	11,0	9,1
Caminhões leves	18,0	5,6
Caminhões médios	18,0	5,6
Caminhões semipesados	29,0	3,4
Caminhões pesados	29,0	3,4
Ônibus urbanos	43,5	2,3
Micro-ônibus	26,0	3,8
Ônibus rodoviários	33,0	3,0

Fonte: (MME, 2013).

O Gráfico 4, mostra a evolução do consumo de Diesel em âmbito nacional no transporte rodoviário, nota-se que no intervalo de 1980 a 2012 o consumo é crescente, embora nos anos 2001 e 2012 tenha desacelerado. Em 2012, o consumo de Diesel pelos caminhões semipesados ocupa uma boa porcentagem para aquele ano, com cerca de 13 bilhões de litros consumidos; os caminhões pesados consumiram 12 bilhões de Diesel e 5 bilhões para os ônibus urbanos (MME, 2013).

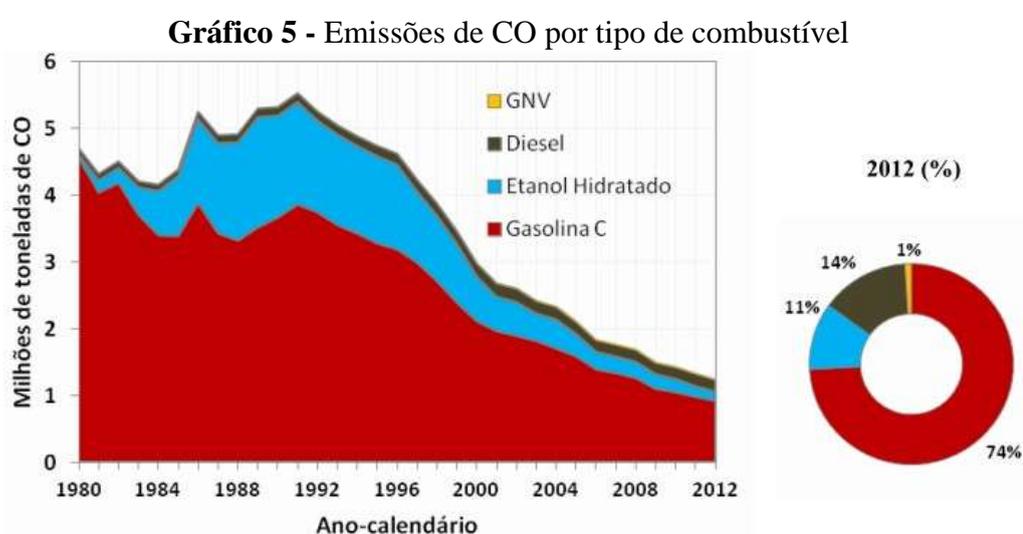
Gráfico 4 - Evolução do consumo nacional de Diesel no transporte rodoviário por categoria de veículos.



Fonte: (MME, 2013).

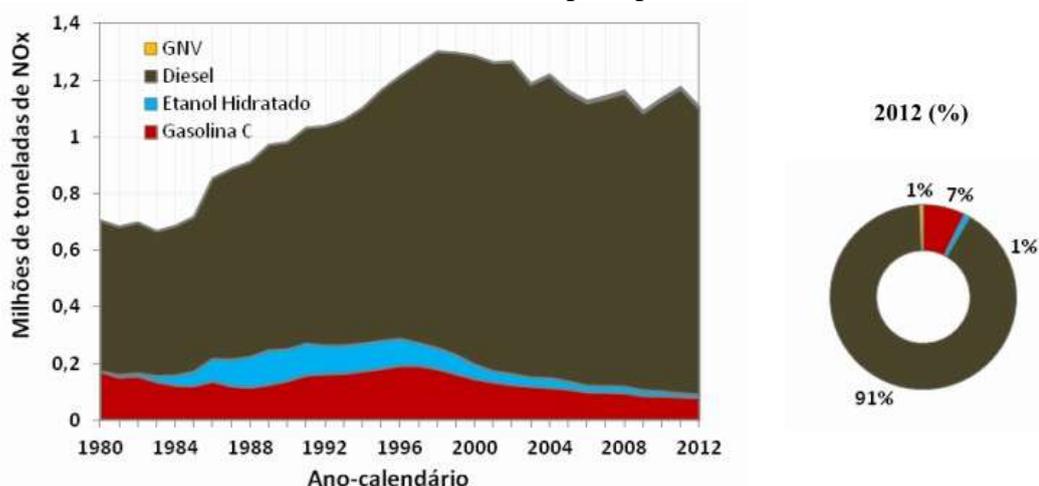
O MMA (2013) ainda divulga as emissões de CO - Monóxido de Carbono; NO_x- Óxidos de Nitrogênio; MP - Material Particulado; RCHO - Aldeídos; CH₄ - Metano; N₂O - Óxido Nitroso e CO₂ - Dióxido de carbono. As emissões são dadas também por tipo de combustível, desde 1980 a 2012.

No Gráfico 5, pode-se visualizar que o Diesel teve uma contribuição de 14% para o volume total de emissões em 2012. Observa-se ainda que a partir do início da década de 90 esse volume foi diminuindo gradativamente, devido a exigências e normas do PROCONVE e outras (MME, 2013).

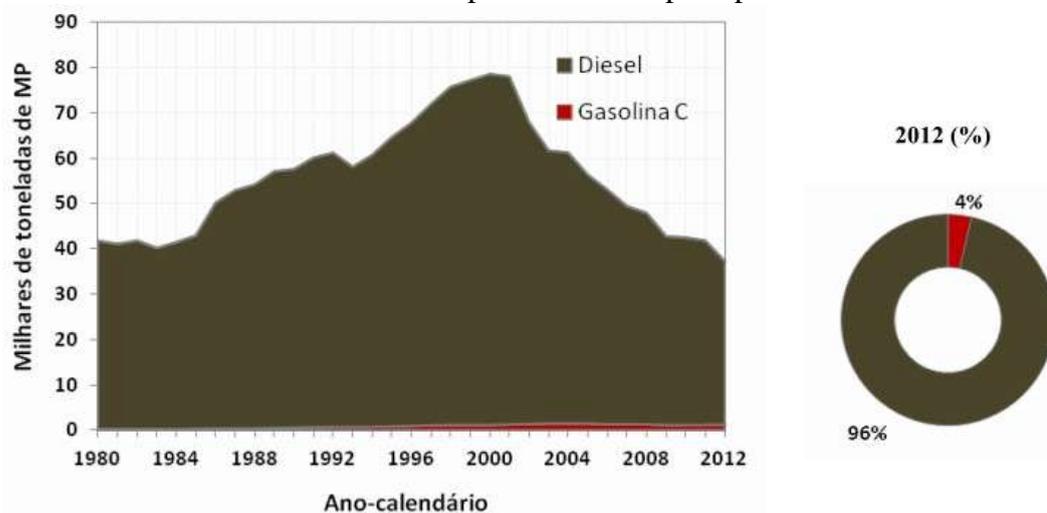


Segundo MME (2013), a quantidade de emissões de NO_x por tipo de combustível, no período de 1980 a 2012, houve um aumento substancial entre 1985 e 1998, tendo ponto máximo de 1,3 milhões de toneladas óxidos de nitrogênio em 1990, conforme o Gráfico 6, este fato pode ser justificado pelo aumento na frota de veículos com motorização a Diesel. Em 2012, 91% das emissões foram provenientes do combustível Diesel, onde 50% destas emissões correspondem a caminhões pesados e semipesados; os ônibus urbanos emitiram juntamente com os micro-ônibus 13% das emissões.

Em comparação com os outros combustíveis, nota-se que o Diesel foi o único que teve crescimento nas emissões de Óxidos de Nitrogênio desde 1980 até 2012. A gasolina C, e o etanol hidratado tiveram maiores emissões entre os anos 1984 até meados de 2000. Esse período foi quando o Pró- Álcool se intensificou no Brasil, promovendo um aumento na frota de veículos movidos a este combustível.

Gráfico 6 - Emissões de NOx por tipo de combustível

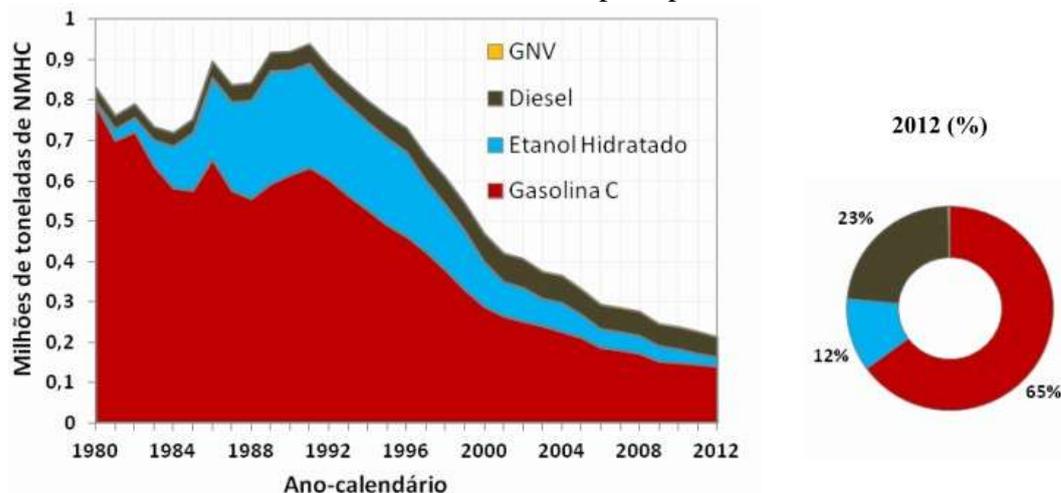
Para as emissões de Materiais Particulados entre os anos de 1980 a 2012, o MME (2013) mostrou que o ápice de poluentes foi de 78 mil toneladas no ano 2000. Depois, houve uma redução nas emissões, atingindo em 2012 menos da metade do ápice. Os caminhões pesados e também os semipesados, foram responsáveis por 50% das emissões em 2012; os ônibus urbanos e micro - ônibus lançaram 14% de materiais particulados para a atmosfera. Todos estes e outros dados podem ser visualizados no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Emissões de MP por combustão por tipo de combustível

Nos estudos do MME (2013), pode visualizar o Gráfico 8, o qual mostra dados relativos às emissões de Hidrocarbonetos não metano - NMHC, a variação temporal também é de 1980 a 2012. Observando as emissões de Diesel, nota-se que a partir do início da década de 90 ocorre um decréscimo nos milhões de toneladas emitidas. As normas do PROCONVE

começam a fazer efeitos positivos para o meio ambiente. Em 2012, as emissões de Diesel corresponderam a 23% do total emitido pela frota nacional.

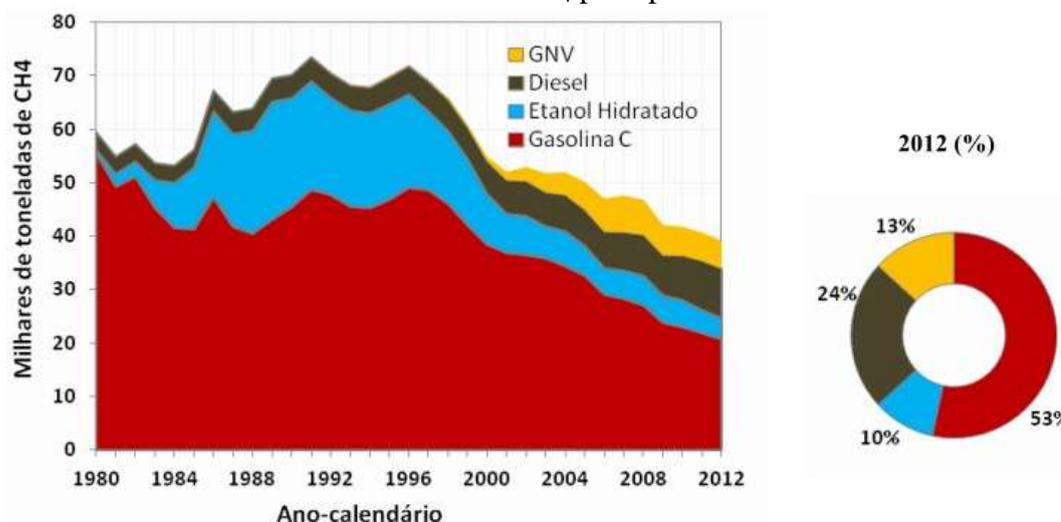
Gráfico 8 - Emissões de NMHC por tipo de combustível



Fonte: (MME, 2013).

O PROCONVE não regulamenta as emissões de metano CH_4 , porém o inventário supracitado fez um estudo sobre as emissões deste gás, baseado no fato de que todas as melhorias para mitigação de hidrocarbonetos totais e não metânicos trariam também, uma redução equivalente nas emissões de metano. Observa-se no Gráfico 9 que, nos últimos anos houve um aumento nas emissões de Diesel, resultando em 2012 a 24% de milhares de toneladas de metano para a atmosfera.

Gráfico 9 - Emissões de CH_4 por tipo de combustível

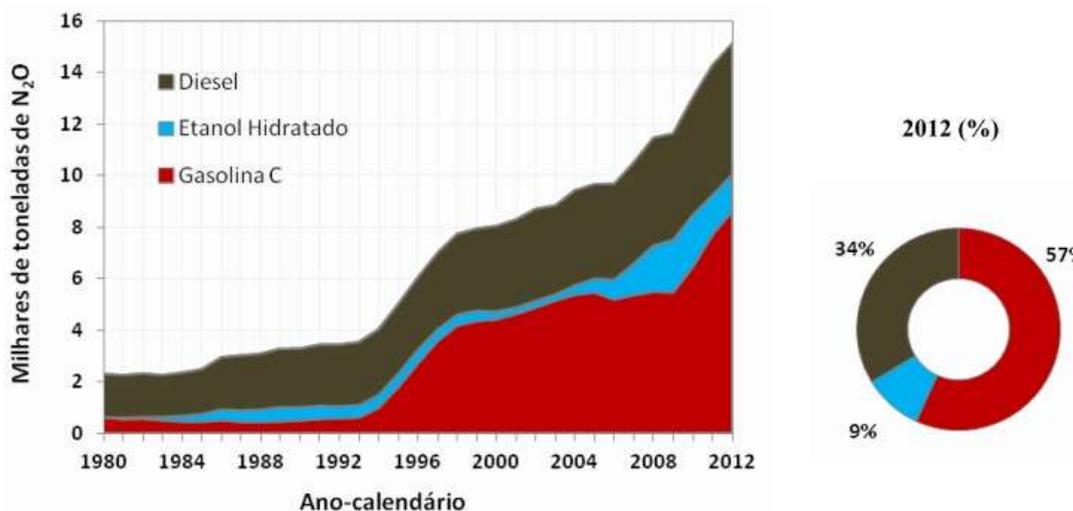


Fonte: (MME, 2013).

No Gráfico 10, estão evidenciadas as emissões de Óxidos Nitrosos, nota-se que no final da década de 90, ocorre um aumento nas emissões de Diesel, devido a uma crescente

evolução na frota de veículos pesados. Em 2012, a porcentagem de óxido nitroso emitido pela combustão do Diesel, foi de 34% da frota nacional (MME, 2013).

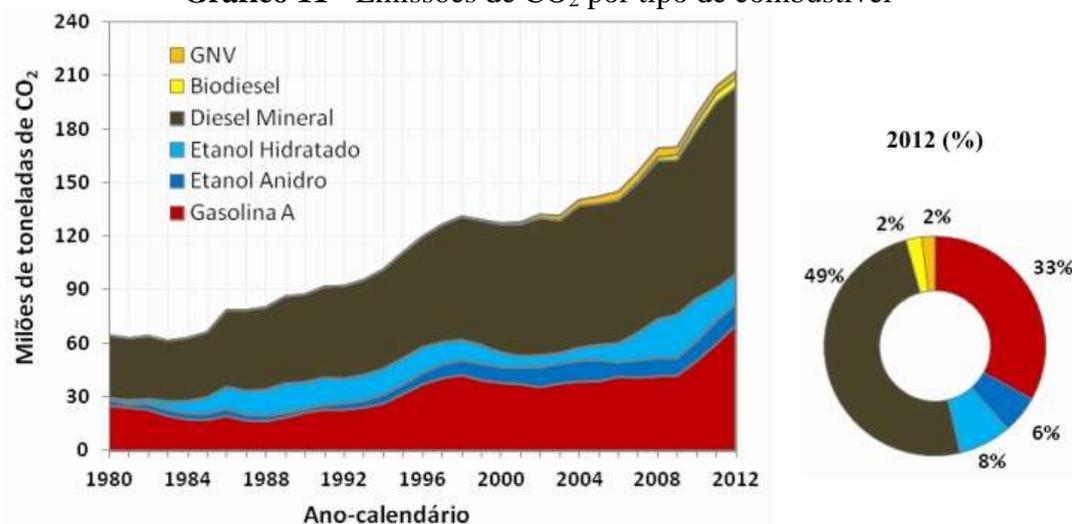
Gráfico 10 - Emissões de N₂O por tipo de combustível



Fonte: (MME, 2013).

MME (2013) trás ainda as emissões de milhões de toneladas de dióxido de carbono, entre os anos de 1980 a 2012, os dados apresentados são relativos ao produto da queima dos combustíveis somente durante o uso do veículo. Não foram contabilizadas as remoções ou emissões no ciclo de vida dos combustíveis utilizados. Analisando o Gráfico 11, percebe-se que no intervalo de tempo estudado, 1980 a 2012, houve uma evolução nas emissões de Diesel, salvo em alguns anos de estabilização, como entre 1998 e 2003. Para o ano de 2012, houve uma emissão de 51% de Diesel e Biodiesel juntos, sendo 49% para aquele e 2% para o Biodiesel (MME, 2013).

Gráfico 11 - Emissões de CO₂ por tipo de combustível



Fonte: (MME, 2013).

O PROCONVE veio para fomentar ao país a redução das emissões de compostos nocivos ao meio ambiente e ao homem. A cada nova etapa do Programa, ocorre uma evolução nos combustíveis líquidos, esses estudos de otimização possibilitam uma mitigação desses compostos. A crescente demanda nas aquisições de veículos a Diesel, fez com que alguns desses compostos aumentassem em termos porcentuais. Conforme foi observado nos Gráficos. As fases de implantação do PROCONVE para veículos leves e pesados podem ser visualizados nos Anexos D e E.

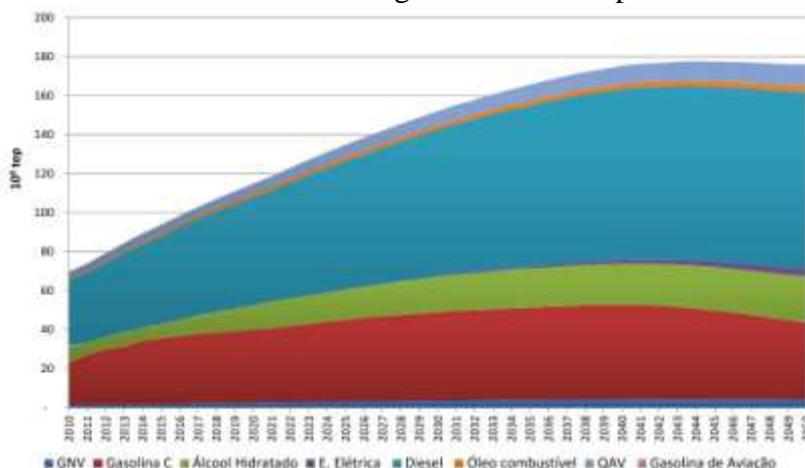
Atualmente na literatura, ainda existem poucos estudos e contribuições sobre o Diesel de cana, independente da empresa proponente. Porém, a motivação para descobertas de novos combustíveis alternativos, mais baratos, mais ambientalmente recomendados e mais atrativos perante a sociedade e o meio político é constante. As projeções nos documentos oficiais do governo brasileiro evidenciam que haverá um aumento na frota de veículos pesados, o que consequentemente trará maior consumo, e por ventura maiores emissões de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa. A próxima seção mostra uma projeção para o Diesel até 2050.

2.4.1 Projeções para o Diesel

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE, em seus estudos, realizou uma projeção da demanda total e energia no setor de transportes, esta análise foi para o período de 2010 a 2050. Verificou-se que a demanda irá crescer em média 2% ao ano.

Observa-se no Gráfico 12, que a demanda de Diesel será significativa, este fato serve de incentivo às empresas e órgãos governamentais para investirem em tecnologias para minimização de gases de efeito estufa, bem como investimentos em combustíveis renováveis.

Gráfico 12 - Demanda total de energia do setor transporte de 2010 a 2050.



Fonte: (EPE, 2014)

Ainda segundo EPE (2014), a demanda no setor Modal Rodoviário para o óleo Diesel foi de 39.175 mil tep em 2013 e será em 2050 de 85.362 mil tep. O aumento só neste setor será em torno de 54,10%. Para o setor Ferroviário, em 2013 foi de 1.081mil tep e em 2050 estima-se que será 4.183 mil tep, um aumento de 74,15%. No setor Aquaviário foi registrado 478 mil tep em 2013 e estima-se que em 2050 será de 1.099 mil tep, esse aumento representará 56,50%.

Os dados apresentados evidenciam que o Brasil necessita de meios tecnológicos para tentar mitigar o máximo possível os níveis de emissão de poluentes para a atmosfera, principalmente aquelas provenientes do combustível Diesel originado do petróleo.

O crescimento na frota de veículo pesados é contínuo e suas demandas por combustíveis só evolui até 2050. Caso o Brasil realize parcerias comerciais com as empresas e indústrias biotecnológicas supracitadas, terá meios de diminuir significamente as emissões com volume igual ou menor que o Diesel fóssil ou o Biodiesel, com a utilização do Diesel de cana. Pois, segundo Loosli, (2014), o Biofene da Amyris tem maior autonomia veicular que o Biodiesel de soja.

2.5 Potencial de expansão da cana-de-açúcar no Brasil

A expansão da cana-de-açúcar é regulada pelo Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE CANA), que é um rigoroso e criterioso estudo do clima e solo das regiões do Brasil, o documento apresenta aspectos ambientais, econômicos e também os sociais. Os estudos desses aspectos servem para orientação da expansão sustentável da cultura da cana e mostra também os principais setores para investimentos (EMBRAPA, 2009).

Para realizar o mapeamento do Brasil, foram adotadas algumas diretrizes, como: exclusão de áreas com vegetação nativa; exclusão de áreas para cultivo nos biomas Amazônia; Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai; indicação de áreas que tenham a produção de cana com menor uso de água; Indicação de áreas que apresentem declividade inferior a 12%, permitindo o uso de máquinas nas lavouras; evitar que a produção de cana ofereça riscos a segurança alimentar; e utilização de áreas utilizadas para pastagem ou de áreas degradadas (EMBRAPA, 2009).

Ainda há muito a expandir, atualmente o cultivo da cana utiliza menos de 1% das terras do Brasil, cerca de 7,8 milhões de hectares, e segundo as projeções do Ministério da Agricultura esse valor poderá dobrar, chegando ao máximo a 1,7% em 2017 de acordo com a Tabela 4 (EMBRAPA, 2009).

Tabela 4 - ZAE CANA no Brasil: Quadro resumo

TERRITÓRIO OU ÁREA ESTIMADA	MILHÕES (HA)	PERCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TERRITÓRIO NACIONAL
Território nacional (IBGE)	851,5	100%
Terras agricultáveis	553,5	65,00%
Terras em uso 2002 (ESTIMATIVA Probio)	235,5	27,70%
Áreas com restrição ambiental (incluindo os biomas Amazônia, Pantanal e Bacia do Paraguai)	694,1	81,50%
Áreas aptas ao cultivo / expansão sob usos agrícolas diversos	64,7	7,50%
Áreas aptas ao cultivo / expansão utilizadas com pastagens (alta e média aptidão)	34,2	4,02%
Área atualmente cultivada com cana-de-açúcar safra 2008/2009	7,8	0,90%
Expansão prevista até 2017 para produção de cana-de-açúcar (EPE)	6,7	0,80%

Fonte: (EMBRAPA, 2009)

O potencial de expansão da cana é promissor, a Tabela 5 apresenta a síntese das áreas aptas para a expansão do cultivo da cana, considerando as classes de aptidão agrícolas e os tipos de usos da terra. Fica evidente que 56,91% das áreas aptas são somente de pastagens, e 4,86% da agropecuária e 38,22% relativo à agricultura. Esse potencial poderia alavancar o Brasil numa nova era no setor energético, e poderia ser um modelo de país nas energias renováveis para combustíveis.

Tabela 5 - Síntese das áreas aptas para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, considerando as classes de aptidão agrícola e os tipos de uso da terra predominantes em 2002.

Áreas aptas no Brasil, por classe de aptidão e por tipo de uso (ha)						
	Classes de	Áreas aptas por tipo de uso da terra (ha)			Área por Aptidão (ha)	
	Aptidão	Ap	Ag	Ac	Ap + Ag	Ap + Ag + Ac
Brasil	Alta (A)	10251026,9	585988,94	7191387,54	10.837.015,84	18.028.403,38
	Média (M)	22.818.769,58	2015246,5	16.340.889,74	24.834.016,08	41.174.905,82
	Baixa (B)	3062028,55	490027,4	733151,94	3.552.055,95	4.285.207,89
	A+M	33.069.796,48	2601235,44	23.532.277,28	35.671.031,92	59.203.309,20
	Total	36131825,03	3091262,84	24265429,22	39.223.087,87	63.488.517,09

Legenda: Classes de Aptidão: A: Alta; M: Média; B: Baixa – Uso atual: Ac: Agricultura; Ag: Agropecuária; Ap: Pastagem

Fonte: (EMBRAPA, 2009)

MAPA (2015) apresenta dados das áreas plantadas e colhidas de cana-de-açúcar no período de 2002 a 2013, mostrando que em 2002 a área plantada era pouco mais de cinco milhões de hectares chegando em 2013 a quase 11 milhões de hectares, um aumento de 110% em 11 anos, conforme a Tabela 6.

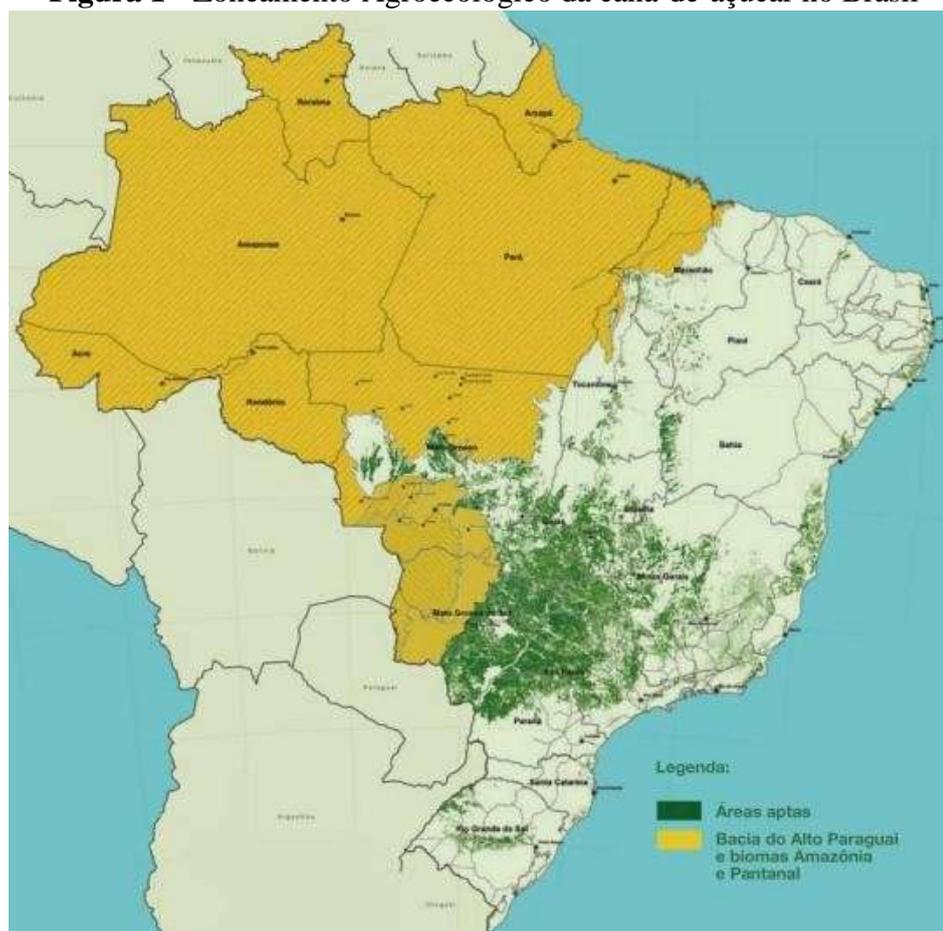
Tabela 6 - Área plantada e área colhida de cana-de-açúcar para todos os fins, por ano civil

Ano	Área Plantada	
	Área em Hectares	Área Colhida
2002	5.206.656	5.100.405
2003	5.377.216	5.371.020
2004	5.633.700	5.631.741
2005	5.815.151	5.805.518
2006	6.390.474	6.355.498
2007	7.086.851	7.080.920
2008	8.210.877	8.140.089
2009	8.845.833	8.617.555
2010	9.164.756	9.076.706
2011	9.616.615	9.535.194
2012	9.424.615	9.407.078
2013	10.941.095	9.835.169

Elaborado por: IGBE

Fonte: (MAPA, 2015)

Estas terras citadas podem ser visualizadas na Figura 1, onde se percebe que os cinco Estados com maior potencial de expansão.

Figura 1 - Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil

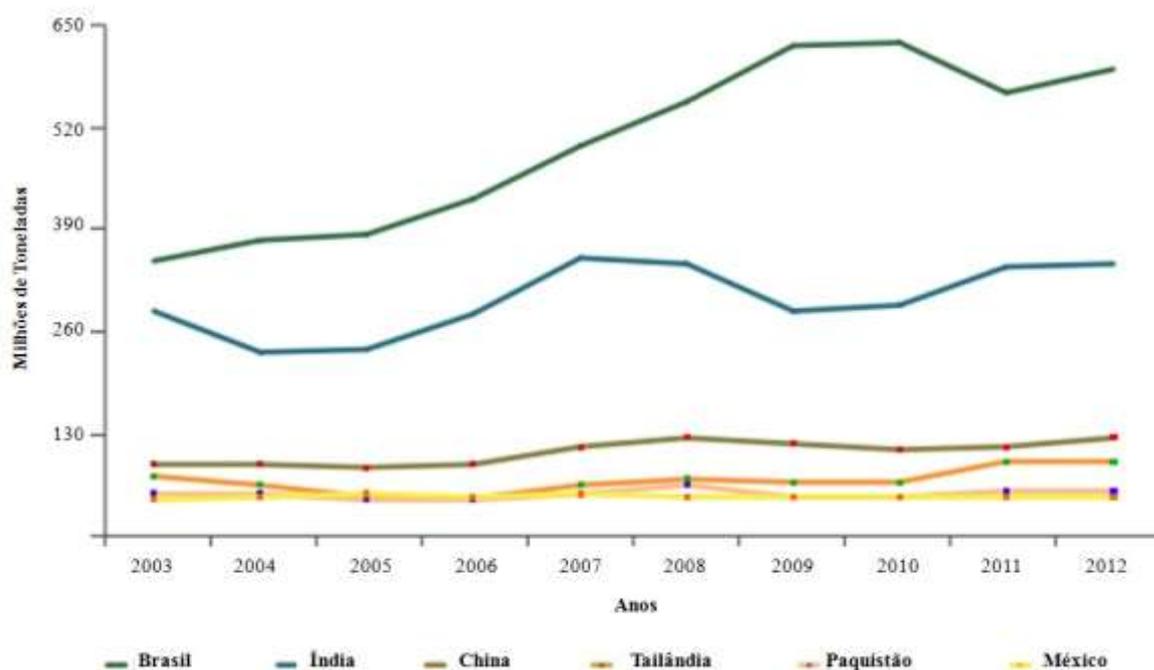
Fonte: (EMBRAPA, 2009)

Nota-se que os cinco Estados Brasileiros com maior potencial são:

- Mato Grosso com área antropizada apta para expansão do plantio de 6.812.854 hectares;
- Mato Grosso do Sul com 10.869.820 hectares;
- Goiás com 12.600.530 hectares;
- Minas Gerais com 11.250.202 hectares;
- São Paulo com 10.645.485 hectares;

Segundo MAPA (2015), o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Em 2003 produzia 349,6 milhões de toneladas, passando para 594,3 milhões em 2012, um aumento de quase 70%. O Gráfico 13 compara a evolução do Brasil em relação a produção de outros maiores produtores de cana do mundo.

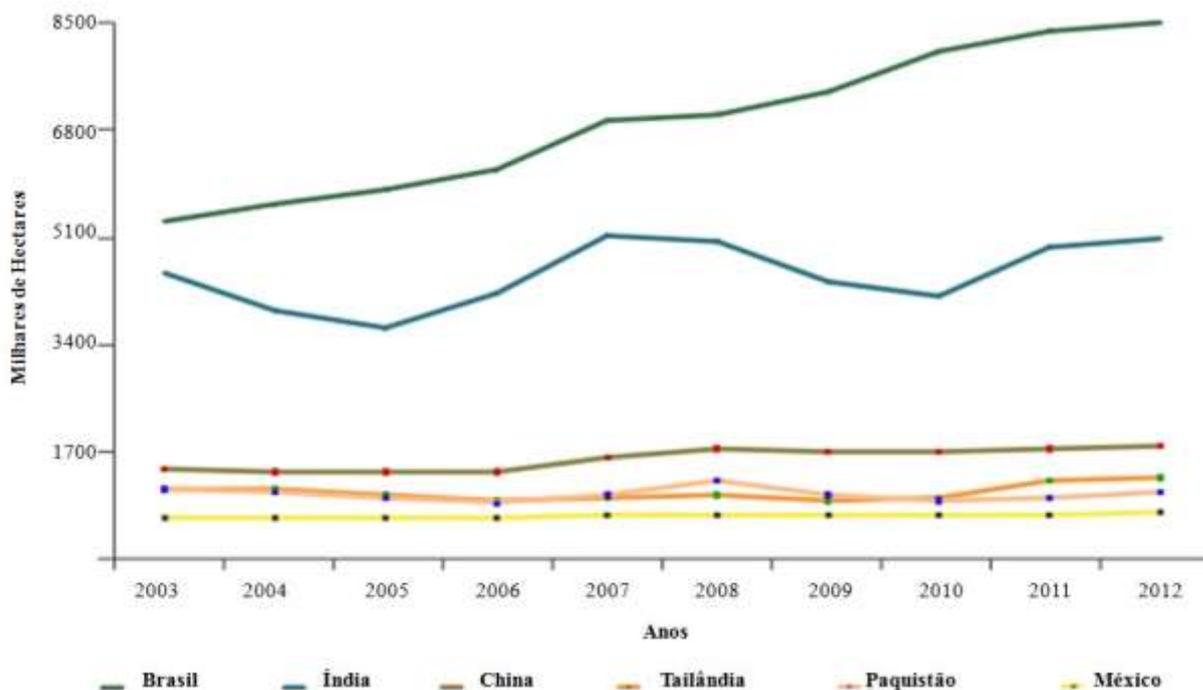
Gráfico 13 - Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar em milhões de toneladas.



Fonte: (MAPA, 2015)

O Gráfico 14 mostra a série histórica da área plantada dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhares de hectares. Nota-se que o Brasil está na liderança mundial, desde o período analisado 2003 a 2012. Em 2003, teve aproximadamente 5 milhares de hectares e quase 8,5 milhares de hectares em 2012, com aumento neste período de 58% aproximadamente.

Gráfico 14 - Série histórica da área plantada dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhares de hectares.



Fonte: (MAPA, 2015)

2.6 Origem do Diesel de Cana

O Diesel de cana-de-açúcar foi desenvolvido há poucos anos por três *start ups* da bioindústria americana, a Amyris, Solazyme e LS9. A empresa Amyris já tem parcerias no Brasil, a Solazyme e LS9 ainda pretendem implantar no Brasil grandes projetos de produção de Diesel de cana-de-açúcar. Elas foram selecionadas pelo (PAISS) Plano Conjunto BNDES - FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (ALVES e BOMTEMPO, 2012).

2.6.1 Amyris no mercado de Diesel de cana-de-açúcar

A Amyris surgiu nos EUA, na Baía de São Francisco, por meio de estudos de um grupo de cientistas da Universidade da Califórnia (AMYRIS, 2014a). A empresa possui tecnologia inovadora e equipamentos de ponta.

No início, a empresa buscava aumentar as possibilidades de tratamentos contra a malária. Foi em 2005 que aconteceu o grande marco, financiado por meio de bolsa da Fundação Bill & Melinda Gates, os cientistas conseguiram criar cepas microbianas para a produção de ácido artemisínico (ácido arteanúico), o qual sofre uma fermentação e cuja

transformação sintética por via fotoquímica produz a artemisinina semissintética (AMYRIS, 2014a; REVISTA PESQUISA FAPESP, 2014).

Antes de 2005, a produção da artemisinina dependia principalmente da colheita e extração do ingrediente ativo da planta artemísia (*Artemisia annua*). Por esse método tradicional existem as flutuações do preço de mercado e a sazonalidade, fatores que prejudicam o tratamento da malária, que mata mais de 600 mil pessoas em países pobres. O novo processo de síntese, já foi aprovado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), gasta apenas um quinto do tempo para obtenção do composto ativo em relação a produção à partir da plantação da artemísia, ou seja, aproximadamente três meses (AMYRIS, 2014a; REVISTA PESQUISA FAPESP, 2014).

A *Sanofi-Aventis* desde 2008 firmou um contrato autorizando a tecnologia da Amyris, que é uma base *royalty free*, com a intenção de fabricar e comercializar medicamentos a partir de *artemisinina* que servem para curar a malária. E, além disso, a *Sanofi* em 2013 começou a produzir industrialmente, em larga escala, a *Artemisinina* com a ajuda de cepas projetadas da Amyris. A empresa ainda trabalha no estudo do tratamento contra a malária, onde seus fundadores têm contribuído com a organização *Zagaya*, a qual não possui fins lucrativos (AMYRIS, 2014a).

A Amyris, segundo Alves e Bomtempo (2012), foi originada desde 2003 para a confecção de *artemisinina*, uma droga usada na cura da malária. Assim sendo a mesma linha de conhecimento usada na biotecnologia médica-farmacêutica. Dessa forma, a Amyris entrou para a bioindústria com o intuito de fabricação de biocombustíveis e outros bioprodutos. Ao utilizar a biologia sintética para modificação de uma levedura para realizar a fermentação, notou-se que esta produz hidrocarbonetos da família dos isoprenóides com variação de 5, 10 e 15 carbonos, a partir de açúcares. A molécula de farneseno de 15 carbonos é o mais conhecido e produz Diesel de alta qualidade depois de hidrogenado.

Utilizando a engenharia genética a Amyris focou na produção de farneseno renovável, denominado comercialmente de *Biofene*. A partir da família de isoprenóides, surge uma variedade de outros produtos como elastômeros, lubrificantes, produtos cosméticos, combustíveis e aviação (ALVES e BOMTEMPO, 2012; AMYRIS, 2014a).

O desenvolvimento inicial da Amyris foi por fundos de capital de risco e também de agências do governo americano. Somente em 2010 a empresa fez sua oferta pública inicial, onde arrecadou US\$ 85 milhões. No ano seguinte, a Total, empresa global de energia, passou a ser acionista com participação de 22% ou US\$ 135 milhões (ALVES e BOMTEMPO, 2012).

A Amyris iniciou suas atividades no Brasil no mercado de cosméticos em 2011. No início de 2013, começou a produção em escala industrial de *Biofene* na cidade de Brotas em São Paulo. Algumas empresas de transporte de São Paulo e Rio de Janeiro estão realizando testes na utilização de Diesel de cana-de-açúcar, em porcentagens variadas de 10% a 100% (ALVES e BOMTEMPO, 2012; AMYRIS, 2014a).

Atualmente a Amyris continua uma empresa de inovação de produtos renováveis, com milhões investidos e possui cerca de 400 funcionários (AMYRIS, 2014a).

2.6.2 Atuação da Solazyme no Brasil

A Solazyme é uma empresa de biotecnologia com foco na pesquisa, desenvolvimento, produção e comercialização de óleos renováveis e bioprodutos. Foi fundada em 2003 e tem sede em São Francisco, nos Estados Unidos. O objeto inicial e principal até hoje da empresa é a produção de Biodiesel 100% derivado de algas, onde estas transformam açúcares em óleos renováveis (ALVES e BOMTEMPO, 2012; SOLAZYME, 2014a).

A Solazyme atua desde 2007 com operações em equipamentos de fermentação industrial com capacidade para 75 mil litros por meio de produção contratada. Porém, foi em 2011 que a empresa comprou uma fábrica em Peoria, Illinois, a qual possui múltiplos fermentadores de 128 mil litros. Em 2012 começou nesta fábrica a fermentação do ácido algurônico, um dos componentes para cuidados pessoais (ALVES e BOMTEMPO, 2012).

A empresa atua em diversas áreas. No setor de desenvolvimento de combustíveis renováveis, criou uma tecnologia única de produção de Biodiesel derivado de microalgas.

O combustível *Soladiesel*_{BD} da Solazyme, além de não precisar de modificações nos motores a Diesel também promove um desempenho superior ao Diesel fóssil, apresentando teores ultrabaixos de enxofre, monóxido de carbono e materiais particulados nas emissões atmosféricas. Em comparação a outros biodieseis, o Soladiesel apresenta propriedades favoráveis em baixas temperaturas. Quanto às especificações, ele se enquadra na ASTM D 6751 que trata de combustíveis a base de éster metílico de ácidos graxos e obedece também a ASTM D 975 (SOLAZYME, 2014c).

Além do *Soladiesel*_{BD}, a empresa produz outros dois tipos, o Soladiesel_{RD}[®] e o *Solajet*[™], o primeiro atende à ASTM D975 e reduz em 66% os níveis de emissões nos transportes rodoviários. Possui ainda, baixa emissão de material particulado e teor ultrabaixo de enxofre. O *Solajet* é um combustível feito para o setor aeronáutico, também é proveniente do óleo de algas da Solazyme, atende a ASTM D1655, norma responsável pelo setor de aviação comercial. Este óleo possui muitos benefícios para o setor, como: menor estresse por

calor nas asas e inflamabilidade, baixa emissão de fumaça, tempo de armazenamento prolongado e menor custo para manutenção. Outras áreas em que a empresa atua são: as industriais, alimentícia e de cuidados pessoais. Para o setor industrial, produz óleos químicos que servem de base para limpeza doméstica e de cosméticos. Produz também óleos funcionais e Lubrificantes Encapsulados, como: lubrificantes, fluidos hidráulicos, solventes, agentes secantes e fluidos de transferência de calor (por exemplo, fluidos dielétricos) (SOLAZYME, 2014c).

Em 2010 aconteceu um investimento da Bunge do Brasil na empresa Solazyme, posteriormente em maio de 2011, houve um Acordo de Desenvolvimento Conjunto financiado pela Bunge para a produção de óleos passíveis de comercialização em uma área adjacente à usina Moema, da Bunge Brasil. Neste mesmo ano, a Solazyme cedeu o direito de compra de suas ações a Bunge, com algumas condições, dentre elas, uma série de objetivos e prazos vinculados à implementação da Joint Venture (JV) e finalmente a construção da fábrica. Alguns meses depois, em agosto de 2011, as duas empresas divulgaram um Acordo Provisório de JV com todos os detalhes e começaram a engenharia da planta (Solazyme e Bunge..., 2012).

Alves e Bomtempo (2012) relatam que, no julgamento da Solazyme a respeito da sua tecnologia, ela avalia alguns pontos. O primeiro trata-se da capacidade das microalgas crescerem no escuro, onde recebem a energia dos açúcares provenientes de plantas fotossintéticas. O segundo ponto, é a flexibilidade sobre as matérias primas e o terceiro ponto forte é a compatibilidade com os equipamentos de fermentação já disponíveis para escala comercial. A competitividade da empresa está na capacidade de trabalho com cepas de microalgas, que começa desde a identificação e isolamento até a otimização genética para alcançar altos rendimentos nas conversões de açúcares em óleos específicos para o mercado.

Em uma entrevista concedida a Roush (2013), o Cofundador da CEO da Solazyme, Jonathan Wolfson disse os combustíveis foram a razão para iniciar a empresa e que na atualidade ainda é o foco, porém houveram mudanças na compreensão dos feitos da empresa.

2.6.3 Atuação da Ls9

A LS9, diferentemente das outras duas *start ups* apresentadas, trabalha com a biologia sintética para obtenção de biocombustíveis renováveis. A sigla LS9 significa *Life Sustain 9-Billion*, ou Sustentar a Vida de 9 bilhões. Esse nome foi pensado no objetivo da empresa que é

investigar a engenharia genética para suprir as demandas globais de combustíveis renováveis (LS9 Inc., 2014).

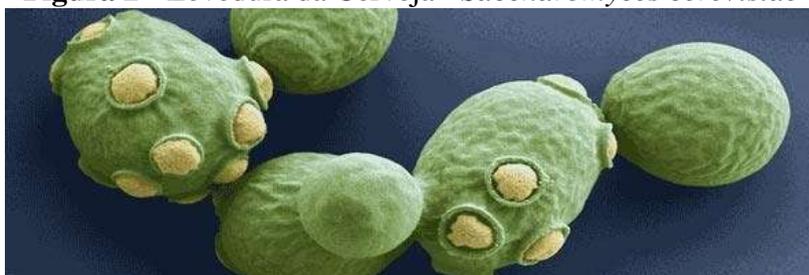
Fundada em 2005 e com sede em São Francisco, nos Estados Unidos, a LS9 é intitulada de *start-up* de biotecnologia. Ela modificou geneticamente a bactéria *E. Coli* e desenvolveu um processo de fermentação que ocorre em uma única etapa. A matéria prima utilizada é proveniente de biomassa vegetal. Os produtos do processo são variados, onde produz-se desde produtos químicos a combustíveis avançados *drop-in*. A LS9 conta com diversos investidores, como: Flagship Ventures, Khosla Ventures, Lightspeed Venture Partners, e Chevron Technology Ventures (ALVES e BOMTEMPO, 2012).

Segundo Alves e Bomtempo (2012), a empresa LS9 realizou acordos com a *Procter & Gamble*, *Chevron*, *Viridia* e *Man Latin - American*. Cada acordo possui um foco diferenciado. Por exemplo, com a *Procter & Gamble* existe a pretensão de produção de produtos químicos, essenciais para a utilização na carteira *P&G*. O acordo com a empresa *Chevron* busca o desenvolvimento de novos combustíveis, como o *drop-in* Diesel. O parceiro encontrado para desenvolvimento e otimização de tecnologias de açúcar de segunda geração, foi a *Viridia*, que utiliza biomassa celulósica como fonte. A empresa *Man Latin - American* firmou acordo com a LS9 para realizar testes em veículos com motores a Diesel no Brasil. Onde em 2011 iniciou seus trabalhos em São Paulo, e já em 2012 ganhou o Prêmio de Tecnologia Sustentável de Biocombustíveis.

O Brasil se tornou um alvo para estas empresas, principalmente a Amyris e a LS9, devido ao fato da grande produção de cana-de-açúcar e do potencial de expansão do seu cultivo no território brasileiro. A parceria entre estas empresas e as brasileiras, propicia contribuição significativa na pesquisa e desenvolvimento nos setores de energias renováveis, mesmo que seja a longo prazo (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2012).

2.7 O auxílio da Biotecnologia

A Amyris utilizou a reengenharia de metabolismo como tecnologia biotecnológica para modificar os genes de um fungo microscópico chamado *Saccharomyces cerevisiae*, como pode ser observado na Figura 2. Este fungo, responsável por transformar o açúcar em etanol combustível, passou a produzir outros produtos no lugar do etanol. Tais produtos podem ser utilizados de diversas maneiras, inclusive como precursor do Diesel (OLIVEIRA, 2008).

Figura 2 - Levedura da Cerveja - *Saccharomyces cerevisiae*

Fonte: (PLANTAS MEDICINALES, 2014)

A taxonomia da *Saccharomyces cerevisiae* foi idealizada em 1883, a qual pode ser vista de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Taxonomia da *Saccharomyces cerevisiae*

Super Reino	<i>Eukaryota</i>
Reino	<i>Fungi</i>
Filo	<i>Ascomycota</i>
Classe	<i>Saccharomycetes</i>
Ordem	<i>Saccharomycetales</i>
Família	<i>Saccharomycetaceae</i>
Gênero	<i>Saccharomyces</i>
Espécie	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

Fonte: (VIANA, 2009)

A *Saccharomyces cerevisiae*, é formada por células em formato oval. Em grande quantidade, a aglomeração deste fungo produz uma mancha branca ou cinza. É conhecida como levedura de cerveja, onde é capaz de converter açúcar em etanol e dióxido de carbono. É utilizada também no processo de fermentação na produção de pães (PLANTAS MEDICINALES, 2014).

A empresa que investiu na bactéria *Escherichia coli* (Figura 3) foi a LS9, a qual foi modificada geneticamente para converter açúcar em ácidos graxos, ésteres e alcoóis graxos (GORGULHO, 2011).

Figura 3 - *Escherichia coli*

Fonte: (YARRIS, 2011)

A bactéria supracitada tem formato de bacilo, possuindo a característica de ser Gram-negativa, anaeróbia facultativa, não esporulada, e pode fermentar açúcares. Quanto à classificação, pode ser estudada de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação da Escherichia Coli

Filo	Proteobacteria
Classe	Gammaproteobacteria
Ordem	Enterobacteriales
Família	Enterobacteriaceae
Gênero	Escherichia
Espécie	Escherichia coli

Fonte: (TODA BIOLOGIA, 2015)

A bactéria possui muitas estirpes, sendo algumas patogênicas. No trato intestinal do ser humano existem colônias comensais da *Escherichia Coli*. Existe a possibilidade de contaminação, originados por alimentos não desinfetados corretamente e também por meio da ingestão de água contaminada (ALVES, 2009; ALVES, 2012).

A empresa Solazyme também investiu na engenharia genética, especificamente nas microalgas (Figura 4), onde foi selecionada uma linhagem não geneticamente modificada, GM, de *Prototheca moriformis*, resultando na linhagem S2014, a qual sofreu uma inserção de dois genes, "o gene da sacarose invertase SUC2 da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, e o gene o FATB2 que codifica uma tioesterase, derivado da planta herbácea *Cuphea wrightii*" (MCT, 2013). Após a avaliação da (CTNBio) Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, houve a conclusão de que o (OGM) Organismo Geneticamente Modificado analisado pode estar na classificação de (NB-1) Nível de Segurança 1 (MCT, 2013). Este nível de segurança é ideal para trabalhos e pesquisas que envolvam agentes com o menor grau de risco para a equipe técnica do laboratório e para o meio ambiente (CTNBIO, 1997).

Figura 4 - Microalga (*Prototheca moriformis*) geneticamente modificada para utilização pela empresa Solazyme.



Fonte: (WEISSA, 2014)

O nome científico da microalga é *Prototheca moriformis*, este microrganismo é unicelular aclorofilado, heterotrófico obrigatório, realiza sua reprodução assexuadamente e não produz esporos. Quanto ao seu habitat, pode ser encontrado em todos, inclusive na água e no solo. Outra informação valiosa é a produção natural de óleo, que foi potencializado geneticamente pela Solazyme. Até hoje não existe efeitos adversos ao meio ambiente (MCT, 2013).

A classificação da microalga pode ser visualizada de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação do *Prototheca moriformis*

Reino	<i>Viridiplantae</i>
Filo	<i>Chlorophyta</i>
Classe	<i>Trebouxiophyceae</i>
Ordem	<i>Chlorellales</i>
Família	<i>Chlorellaceae</i>
Gênero	<i>Prototheca</i>
Espécie	<i>moriformis</i>

Fonte: (BIOSAFETY CLEARING-HOUSE, 2015)

Ainda segundo MCT (2013), quando a microalga é cultivada de modo heterotrófico, produz elevadas quantidades de lipídeos neutros, como os triacilgliceróis que é muito útil em uma gama de aplicações comerciais, podendo-se utilizar a glicose, frutose, dentre outras como fonte de alimento.

As três empresas estudadas neste trabalho iniciaram uma corrida biotecnológica, a qual tem o potencial de mudar o setor energético de transportes. Embora os preços das leveduras e fungos geneticamente modificados não tenham sido divulgados, a utilização da engenharia genética potencializa o valor agregado a estes micro - organismos.

3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi elaborada a partir dos objetivos da pesquisa, que pode ser classificada como uma pesquisa exploratória. Deste modo, descreveu-se o um histórico do surgimento do Diesel das empresas Amyris, Solazyme e LS9. Evidenciando os parâmetros industriais, Físico-Químicos e ambientais dos combustíveis destas empresas, o Biofene, O Soladiesel e o *Ultra Clean*. Aliado a pesquisa exploratória, foi utilizada a pesquisa explicativa, trata da busca de respostas satisfatórias para fenômenos da realidade (GIL, 2002). Deste modo foi possível analisar os dados existentes da qualidade destes novos combustíveis, sempre os comparando com as normas nacionais reguladas pela ANP. Através da pesquisa explicativa foi possível confrontar os dados referentes aos aspectos de emissão de poluentes atmosféricos com as normas nacionais (PROCONVE) e internacionais (EURO V).

Para atingir os objetivos propostos no trabalho a metodologia foi dividida em cinco etapas. Na primeira etapa, verificou-se a evolução temporal do surgimento do Diesel de cana nos Estados Unidos e sua chegada ao Brasil.

Na segunda etapa, mostraram-se os processos industriais das empresas, que foram encontrados na literatura.

Na terceira etapa, abordaram-se as propriedades Físico-Químicas dos combustíveis *Biofene*, *Soladiesel* e *Ultra Clean* das empresas Amyris, Solazyme e LS9, respectivamente. Sempre confrontando os dados com as normas estabelecidas pela ANP.

Os aspectos ambientais de cada combustível foram analisados na quarta etapa, onde se verificou os índices de emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), materiais particulados (MP), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO). Essas emissões foram comparadas com as normas nacionais e internacionais, PROCONVE E EURO V, respectivamente. Foram analisados ainda os aspectos sociais da utilização do Diesel de cana no Brasil.

Além das etapas que cumprem os objetivos deste trabalho, também fez-se uma etapa extra, a qual apresenta várias experiências da utilização do Diesel de cana-de-açúcar no Brasil. Estas experiências pioneiras de testes urbanos com o Diesel de cana são de inegável importância para a consolidação destes novos combustíveis no Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os processos industriais das empresas Amyris, Solazyme e LS9 para produção do Diesel de Cana. Serão apresentadas algumas propriedades Físico-Químicas adquiridas na literatura sobre os combustíveis de cada empresa, assim como possíveis contribuições ambientais e sociais destes combustíveis para o Brasil.

4.1 Processo Industrial de produção do Diesel de cana-de-açúcar

Nesta seção serão enfatizados os biocombustíveis das empresas Amyris, LS9 e Solazyme pela relevância das suas pesquisas.

4.1.1 *Biofene*, o Diesel de cana da Amyris

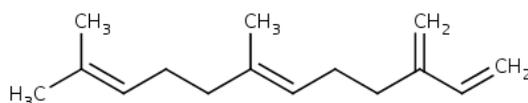
Na literatura ainda existem poucos materiais que abordam o processo industrial do Diesel de cana da Amyris, o *Biofene*. Como se trata de uma patente, não tem muita especificação, nem detalhamento do processo. Este se baseia em algumas etapas, muito parecidas com o processo de obtenção do etanol.

A empresa ainda está em processo de otimização de cada etapa do processo industrial, e melhorando as cepas das *Saccharomyces cerevisiae*. Pelos registros encontrados, a empresa solicitou a liberação comercial do farneseno. A CTNBio deu parecer favorável ao processo 01200.003590/2009-85 em 2009 para utilização da *Saccharomyces cerevisiae* cepa 1979 geneticamente modificada para produção de farneseno. Em 2011, fez outra solicitação, processo nº 01200.003977/2011-56, para a cepa Y5056 a qual também foi deferido o processo (BRASIL, 2009).

Segundo MCT (2012), a *Saccharomyces cerevisiae* geneticamente modificada recebeu genes de *Saccharomyces kluyveri*, *Clostridium butylicum*, *Brassica juncea* e *Zymomonas mobilis* para aumentar a produtividade. O farneseno produzido ao término do processo é separado e serve para a produção de diversos produtos, dentre eles um Biodiesel sustentável e isento de enxofre.

O início do processo é idêntico ao de produção do etanol, depois da cana passar pela moagem, o caldo sofre uma fermentação, a levedura modificada geneticamente produz o *trans-β-farneseno* (C₁₅H₂₄), Figura 5, em seguida vai para a etapa de separação ou centrifugação, posteriormente sofre uma purificação e ao término passa pela hidrogenação gerando o Diesel de cana. Conforme pode ser visto na Figura 6. Este pode ser utilizado como combustível em substituição ao Diesel de petróleo (CTNBIO, 2009).

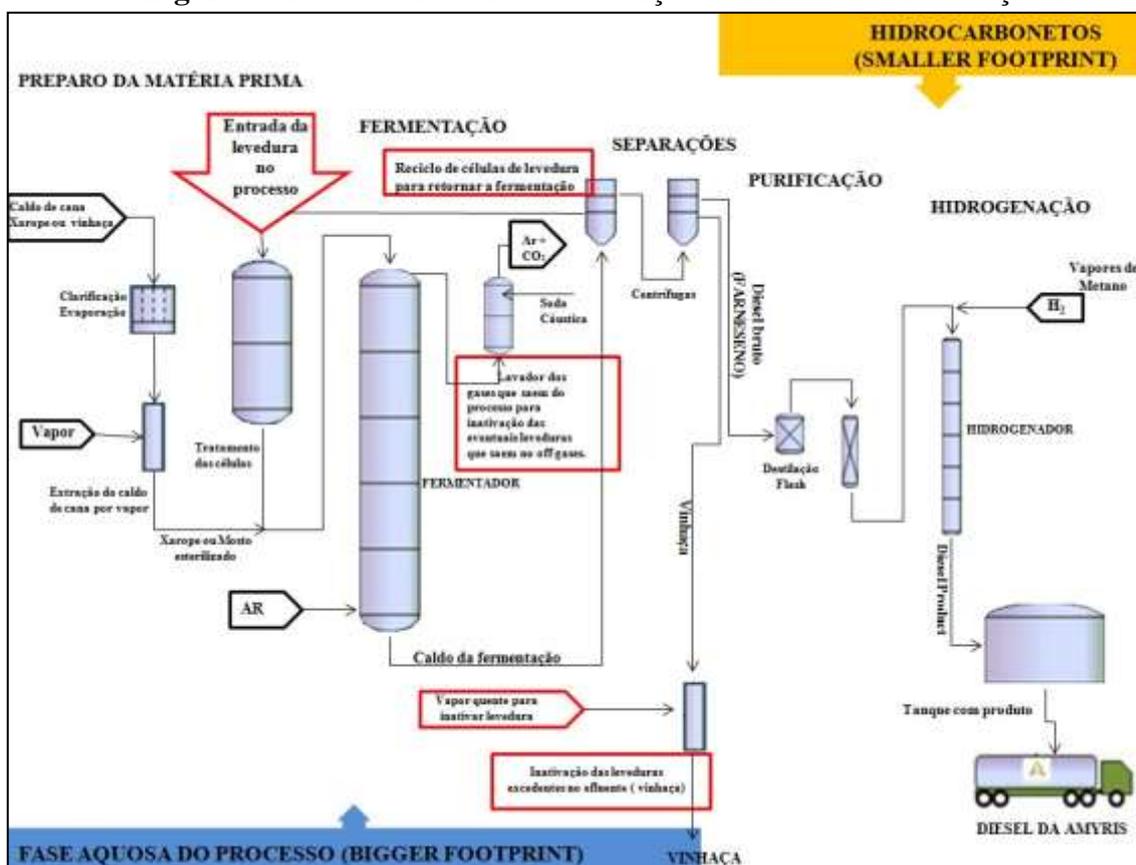
Figura 5 - Molécula do trans-7,11-Dimethyl-3-methylene-1,6,10-dodecatriene



Fonte: (CHEBI, 2015)

No Parecer Técnico da CTNBio (2009), a empresa mostra um esquema gráfico do processo industrial, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Processo industrial de obtenção do Diesel de cana-de-açúcar.



Fonte: Adaptado de CTNBio (2009).

No trabalho de Oliveira (2008), o biólogo Fernando Reinach relata que foram feitas mudanças genéticas, as quais ele chama de microcirurgias pontuais no material genético dos fungos da *Saccharomyces cerevisiae*, alterando a sua rota metabólica. Essa alteração em cerca de 15 genes faz com que ela produza farneseno em vez de etanol.

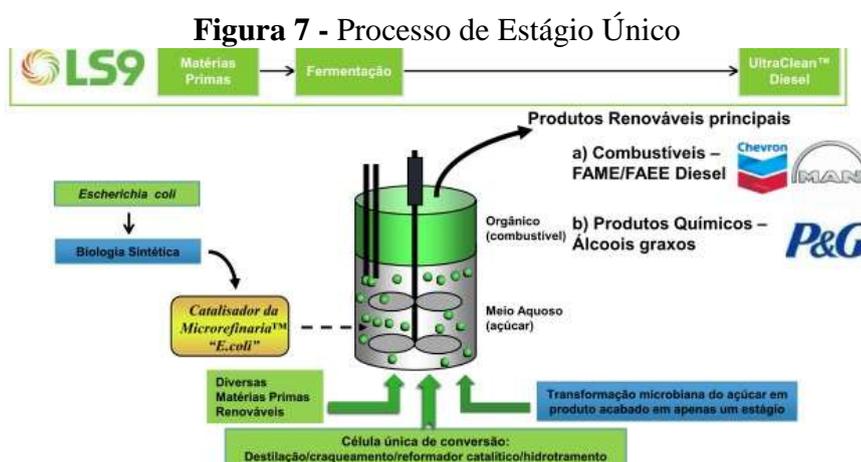
Existe uma desvantagem para o início do processo de produção do farneseno, a fermentação tem bom desempenho quando é feita a partir de cana recém-cortada, com prazo máximo de 24 horas. No entanto, sabe-se que existem usinas bem distribuídas pelo vasto

território brasileiro, possibilitando assim uma logística para obedecer a este prazo (CARVALHO, 2014).

Carvalho (2014) ainda mostra que para produzir 30 milhões de litros anuais de Diesel, é preciso dois milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

4.1.2 *Ultra Clean*, o Biodiesel da Ls9

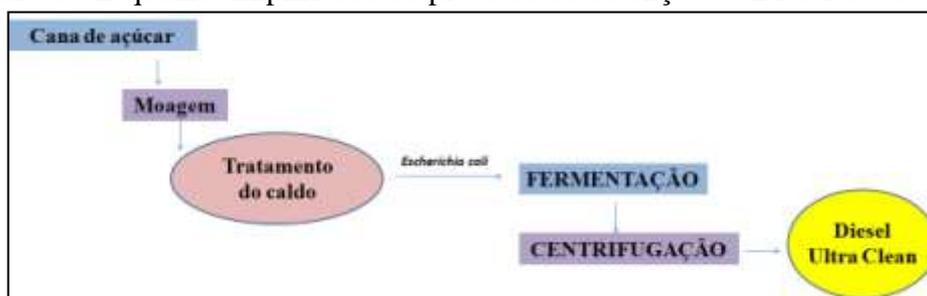
O *Ultra Clean* da LS9 é gerado em uma célula única de conversão, onde existe uma flexibilidade quanto à biomassa utilizada. Os açúcares da biomassa são convertidos em produto acabado em um único estágio, de acordo com a Figura 7. A utilização da biologia sintética possibilitou a criação deste combustível substituto do Diesel fóssil. Segundo Rinelli (2012), além de combustíveis, é possível gerar outros produtos químicos (alcoóis graxos).



Fonte: (RINELLI, 2012)

Outra colaboração sobre o processo de produção da empresa LS9 é dado por Schroeder (2009) e Gorgulho (2011), o Diesel de cana *Ultra Clean* da LS9 é um produto pronto quando sai do fermentador, necessitando de uma simples centrifugação para separar as fases geradas, não havendo necessidade de outras etapas para finalizar o processo, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Esquema simplificado do processo de obtenção do Diesel *Ultra Clean*



Fonte: Elaboração do Autor baseado em Schroeder (2009) e Gorgulho (2011).

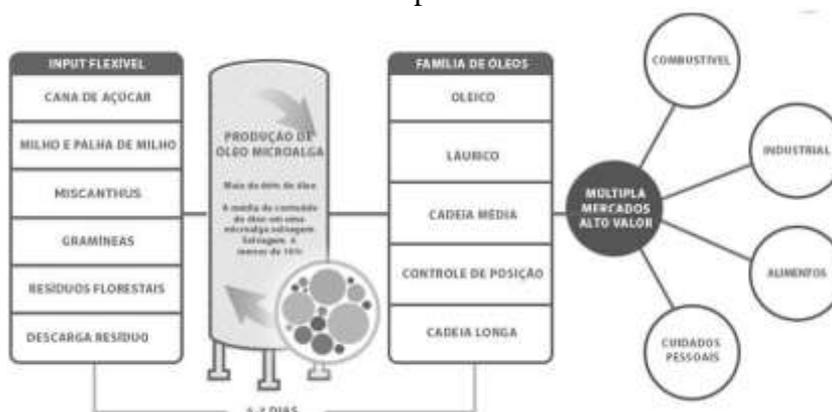
As bactérias *E.coli* modificadas convertem carboidratos diretamente no Diesel *Ultra Clean*. Ainda podem gerar outros produtos químicos de acordo com a necessidade da empresa.

4.1.3 Soladiesel, o Diesel da Solazyme

De acordo com Chambers (2008), em junho de 2008 a Solazyme tinha anunciado que desenvolveu o primeiro Diesel renovável a base de micro algas que atendessem a ASTM - Sociedade de Testes e Materiais D- 975 e suas especificações. Segundo o mesmo autor, o Soladiesel_{RD} não pode ser considerado um Biodiesel, ele cita a fala do Sr. Dillon, o qual afirma que o novo combustível é indistinguível do Diesel fóssil. Fato este, que ratifica a utilização das normas ASTM para Diesel de petróleo com êxito em suas análises e não as normas do Biodiesel, regidas pela ASTM D6751.

A Solazyme antes de executar o processo industrial, realiza uma triagem rigorosa das linhagens de microalgas, que a partir do açúcar pode produzir diversos produtos na área alimentícia, farmacêutica, cosméticos, lubrificantes e diversos outros produtos. Depois da seleção de variedades de microalgas para a produção de óleo combustível, ocorre a fermentação industrial, etapa que converte açúcares em óleo. Em seguida, entre 5 a 7 dias, a fermentação acelera os processos microbiológicos das microalgas, resultando em grandes quantidades de óleo, o qual receberá o nome de Soladiesel. Este combustível pode ser utilizado em substituição ao Diesel fóssil. Finalizado na fermentação, as microalgas passam por mais outras etapas como a secagem e extração do óleo, e finalmente este produto é enviado para comercialização. Este processo simplificado descrito acima pode ser visualizado na Figura 9 (SOLAZYME, 2014b).

Figura 9 - Esquema simplificado do processo de obtenção do Combustível Soladiesel e outros produtos.

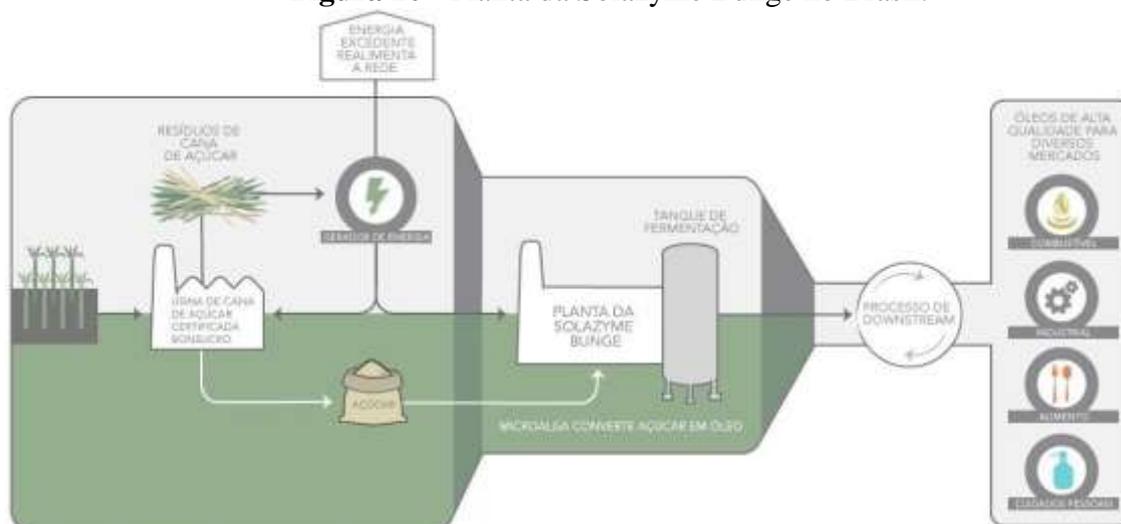


Fonte: Adaptado de Solazyme (2014b)

Pode-se observar que o processo é muito parecido para a geração de outros produtos. Cada tipo de óleo pode ser originado pela modificação genética das microalgas. Por exemplo, para se desenvolver um óleo que traga benefícios para o coração humano, adiciona-se um gene do girassol que aumenta a produção de gorduras mono insaturadas e concomitantemente desativa o gene que fomenta a produção de gordura saturada (SOLAZYME, 2014b).

Segundo Solazyme (2014c), no Brasil, a Solazyme implantou em Orindiúva no Estado de São Paulo uma planta para criação de óleos e ingredientes com ótima qualidade e com baixo teor de carbono e utilização de água, além de baixo impacto na utilização da terra. Essa planta sustentável (Figura 10) aproveita os resíduos da cana para geração de eletricidade e também através do vapor que alimenta a usina de açúcar tradicional e a nova planta para a produção de óleos. Estes óleos produzidos se destacam com uma pegada ecológica de carbono menor que outro óleo de origem vegetal e até mesmo o de origem fóssil.

Figura 10 - Planta da Solazyme Bunge no Brasil.



Fonte:

Adaptado de Solazyme (2014c)

A atuação da Solazyme com a Bunge originou a *joint venture*: a Solazyme Bunge Produtos Renováveis. Esta nova usina, foi acoplada adjacente à usina de cana-de-açúcar Bonsucro® da Bunge. A usina utiliza o bagaço de cana para geração de energia para alimentar o seu processo de ciclo fechado. A capacidade de produção da usina pode chegar a 100 mil toneladas de óleo por ano (SOLAZYME, 2014b).

Quanto aos custos, Pista (2014) revela que a Solazyme acredita na produção de combustíveis e outros produtos químicos pelas as estirpes de microalgas, podendo assim gerar óleos com baixo custo de US\$ 1.000 por tonelada métrica, o equivalente a \$ 3,44 por galão ou US \$ 0,91 por litro, caso produzido em uma usina com essa finalidade comercial.

4.2 Propriedades Físico-Químicas do Diesel de cana-de-açúcar

Nesta seção, serão abordados os aspectos Físico-Químicos do Diesel da Amyris, da LS9 e da Solazyme, correlacionando com as normas da ANP para comercialização no Brasil.

4.2.1 Propriedades Físico-Químicas do *Biofene*

Atualmente já existem vários estudos do combustível da Amyris, o *Biofene*. A Amyris Inc (2015) divulgou em seu site as propriedades Físico-Químicas do farneseno, conforme a Tabela 10. Este estudo mostra as principais análises solicitadas pelas normas internacionais para biocombustíveis.

Tabela 10 - Propriedades Físico-Químicas do Farneseno.

Análise	Farneseno
Aparência	Líquido
Cor	Incolor a amarelo- claro
Odor	Arborizado
Limite de odor	Nenhuma informação identificada.
pH	Nenhuma informação identificada.
Ponto de fusão / ponto de congelamento	<-70 ° C (ponto de fluidez)
Ponto de ebulição inicial e intervalo de ebulição	250-260 ° C (760 mm Hg);
Ponto de inflamação	116,0 ° C (240,8 ° F)
Taxa de evaporação	Nenhuma informação identificada.
Inflamabilidade (sólido, gás)	Nenhuma informação identificada.
Superior / inferior	LFL 0,5% (25 ° C @ 758 mmHg)
inflamabilidade	UFL 6,5% (25 ° C @ 758 mmHg)
Pressão de vapor	117 Pa @ 20 ° C
Densidade de vapor	> 1 (Ar = 1)
Densidade relativa	0,83 g / ml (15 ° C)
Solubilidade em água	Estimado <0,0001 g / L @ 20 ° C (OCDE 105)
Solubilidade solvente	Solúvel em álcoois.
Coeficiente de partição (N-octanol / água)	Log Kow> 6.5 (OCDE 117).
Temperatura de auto-ignição	237 ° C.
Temperatura de Decomposição	Nenhuma informação identificada.
Viscosidade	2,52 cSt a 20 ° C
Propriedades explosivas	Nenhuma informação identificada.
Propriedades oxidantes	Nenhuma informação identificada.

Fonte: Adaptado de Amyris Inc (2014b)

No trabalho de Bedoukian Research (2015), mostra alguns parâmetros Físico-Químicos do farneseno, como a densidade, o peso molecular e o peso específico de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Propriedades Físico-Químicas do farneseno.

Densidade	0,826-0,834 g/cm ³
Fórmula Molecular	C ₁₅ H ₂₄
Peso Molecular	204,35
Peso específico	0,826-0,834 a 25° C

Fonte: (BEDOUKIAN RESEARCH, 2015)

Os autores Conconi e Crnkovic (2013), mostram em seus estudos uma comparação das propriedades Físico-Químicas entre o farneseno, o Diesel fóssil e o Biodiesel, Tabela 12.

Tabela 12 - Propriedades Físico-Químicas das amostras puras.

Análise	Amostras		
	Farneseno	Diesel	Biodiesel
Carbono (%)	840,67*	850,54*	760,5*
Hidrogênio (%)	150,33*	140,46*	12,74
Oxigênio (%)	-	-	10,76
Nitrogênio (%)	-	-	-
Enxofre (%)	0,001	0,003	0,001
O número de cetano	58	49	59
Viscosidade cinemática a 40 ° C (mm ² s ⁻¹)	2,95	3,11	4,42
Densidade a 20 ° C (g ml ⁻¹)	0,770	0,843	0,882
Poder Calorífico Superior (MJ kg ⁻¹)	46,9	45,3	39,7

Nota: * Em termos percentuais, acredita-se que os reais valores para Carbono (%) sejam: 84,067, 85,054 e 76,05 para o Farneseno, Diesel e Biodiesel, respectivamente. E quanto ao Hidrogênio (%) é 15,033 e 14,046 para o Farneseno e Diesel, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Conconi e Crnkovic (2013)

Ao analisar esta tabela, nota-se que as porcentagens de (CHO) Carbono, Hidrogênio e Oxigênio do farneseno se assemelham muito ao Diesel; os três combustíveis analisados possuem valores de enxofre insignificantes. Quanto a número de cetano, o farneseno e o Biodiesel foram superiores ao Diesel fóssil, indicando que com estes combustíveis, o tempo de resposta da ignição veicular será menor.

Para os testes de viscosidade, o Farneseno demonstrou ser menos viscoso a 40°C, seguido do Diesel e depois o Biodiesel, evidenciando que o primeiro de acordo com Teixeira, Colaço e Caldeira (2013) terá um tamanho menor na gota de spray na câmara de combustão, favorecendo a ignição e a eficiência na combustão.

Quanto à densidade a 20° C, Folquenin (2008) diz que, quando os valores estão acima das faixas de regulação resultam numa mistura abundante de ar/ combustível, favorecendo assim a emissões de poluentes, os quais se podem destacar: o monóxido de carbono, materiais particulados e hidrocarbonetos. No entanto, quando os valores estão abaixo das faixas de

regulagem, a mistura fica pobre, resultando em maior consumo de combustível conjuntamente com a perda de potência do motor.

A densidade do farneseno ficou menor que o Diesel e o Biodiesel, indicando que este combustível tem potencial para ser menos poluente que os demais. Quanto aos indicativos de consumo e potência, Brasil Caminhoneiro (2013) afirma que a *MAN Latin America* desenvolveu testes de análise estática com varias simulações com 100% do Diesel da Amarys nos motores Euro V, obtendo vantagens desse combustível em relação do Diesel fóssil.

As pesquisas de Millo *et al.* (2014) mostram as propriedades do farneseno em comparação ao *Ultra-low-sulfur Diesel* (ULSD) ou Diesel com teor ultra baixo de enxofre, conforme a Tabela 13. Nota-se que muitas das propriedades analisadas em comparação com a Tabela 12 possuem valores muito correspondentes, ou seja, bem próximos. Neste estudo, confirma-se a superioridade das propriedades do farneseno em relação ao Diesel fóssil.

Tabela 13 - Principais Propriedades de combustíveis de testes

Propriedades	Amostras	
	Farneseno	Diesel (ULSD)
Teor de carbono C (w%)	84,2	86,2
Teor de hidrogênio H (w%)	14,9	13,5
O teor de oxigênio (w%)	0	0
Total de aromáticos (% w)	-	25,7
Teor de enxofre, S (mg / kg)	<3	12,9
Relação estequiométrica	14,9	14,5
Calorífico líquido, LHV (MJ / kg)	44,06	42,84
O número de cetano (ISO 5165-98)	56,7	51,2
Densidade a 15 ° C (kg / m ³)	773,6	837,5
Viscosidade a 40 ° C (mm ² / s)	3,1	2,68
LHV / (A / F) _{st} (MJ / kg)	2,96	2,95
A tensão superficial a 20 ° C, (mN / m)	26,2	30,4

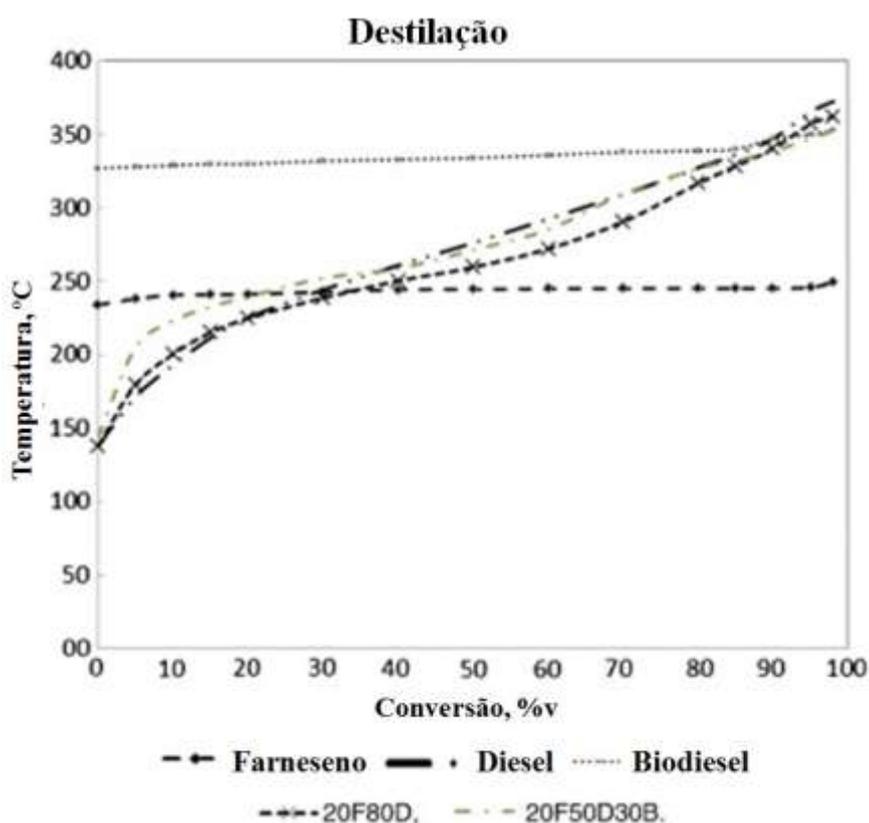
Fonte: Adaptado de Millo et al., (2014)

Outra especificidade do Diesel de cana da Amyris é a curva de destilação, através dela pode-se comparar às curvas do Diesel e Biodiesel para mensurar, por exemplo, um possível número de cetano, o qual é importante para o processo de ignição. Pode-se obter através da comparação das curvas, possíveis comportamentos de misturas de Diesel, Biodiesel e farneseno, com o intuito de aperfeiçoar a curva para rendimento máximo do potencial das misturas.

A diferença de volatilidade de compostos orgânicos possibilita uma separação de misturas de componentes, a técnica que promove essa separação é a destilação. Através dela, é possível obter curvas de temperatura em função do volume porcentual volatilizado (LOPES, 2008).

Os autores Conconi e Crnkovic (2013), realizaram em seus trabalhos o estudo da destilação de curvas de amostras de Diesel, Biodiesel, farneseno, F20D80 (20% de Farneseno e 80% de Diesel) e F20D50B30 (20% de Farneseno, 50% de Diesel e 30% de Biodiesel), conforme o Gráfico 15.

Gráfico 15 - Curvas de destilação de amostras de Diesel, farneseno, Biodiesel, F20D80 e F20D50B30

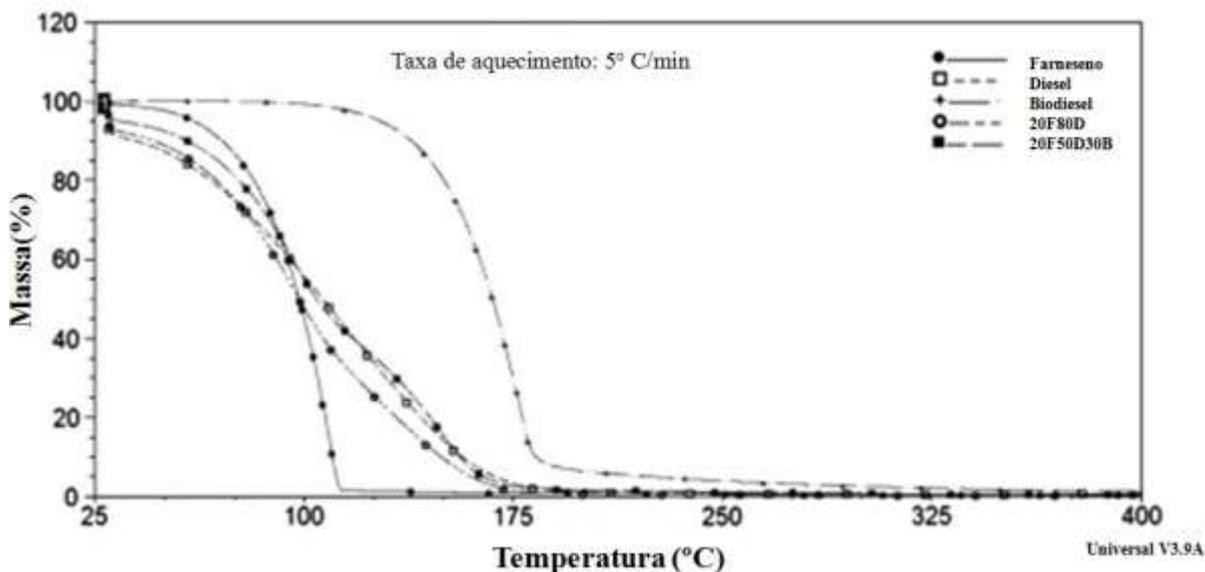


Fonte: Adaptado de Conconi e Crnkovic (2013)

Conconi e Crnkovic (2013), em seus trabalhos fizeram a análise Termogravimétrica (TGA ou TG) conforme Gráfico 16 e Termogravimetria Derivada (DTG) de amostras de Diesel, Biodiesel, farneseno, F20D80 (20% de Farneseno e 80% de Diesel) e F20D50B30 (20% de Farneseno, 50% de Diesel e 30% de Biodiesel).

Segundo Denari e Cavalheiro (2012, p.04), "a análise termogravimétrica é uma técnica que acompanha a variação da massa da amostra, em função da programação de temperatura"

Gráfico 16 - Curvas TG para amostras de combustível com taxa de aquecimento de $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ min}^{-1}$

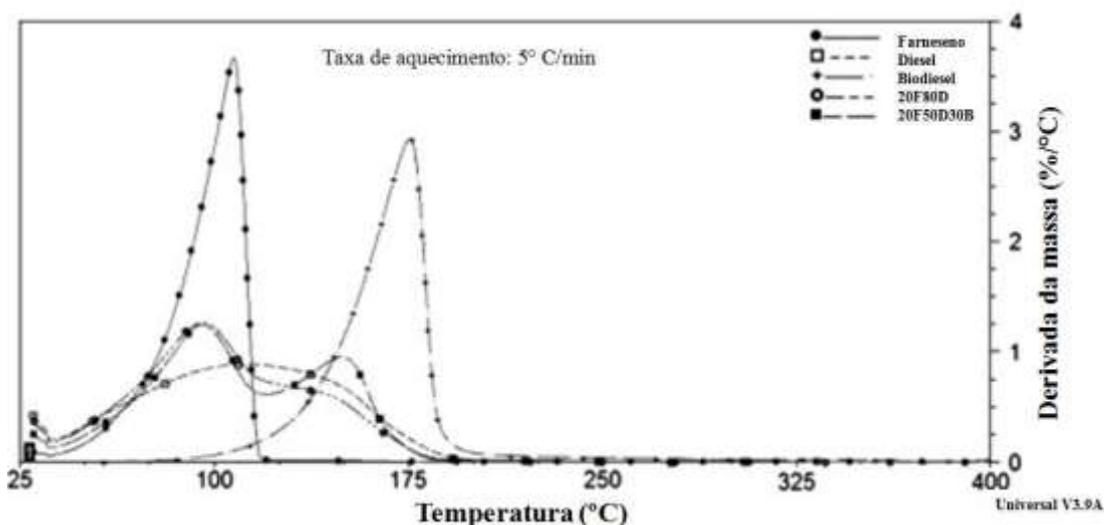


Fonte: Adaptado de Conconi e Crnkovic (2013)

A Termogravimetria Derivada é um modelo matemático, baseado na primeira derivada da variação de massa em função do tempo ou da temperatura (DENARI; CAVALHEIRO, 2012). Nesta técnica são obtidas curvas que correspondem à derivação de primeira ordem da curva TGA ou TG, onde os pontos de inflexão são substituídos por picos que limitam sob sua curva, áreas proporcionais a qualquer alteração de massa sofrida pelas amostras (IONASHIRO, 2004).

No Gráfico 17, tem-se a Termogravimetria Derivada (DTG) de amostras de Diesel, Biodiesel, farneseno, F20D80 e F20D50B30.

Gráfico 17 - Curvas DTG das amostras de combustível com taxa de aquecimento de $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ min}^{-1}$



Fonte: Adaptado de Conconi e Crnkovic (2013)

Analisando-se o Gráfico 15, percebe-se que o intervalo de temperatura do farneseno é 234-250 °C, do Biodiesel 327-353 °C e para o Diesel 138-235 °C. A curva de destilação do Biodiesel mostrou ter um ponto de ebulição alto comparado ao Diesel e farneseno, esse comportamento pode ser ratificado nas curvas de TG e DTG, que indicam uma perda de massa em picos com temperatura significativamente mais elevada do que nas amostras de Diesel e farneseno. Observa-se ainda que a DTG está em uma alta temperatura em determinado pico, indica que o combustível é pouco reativo, tal consideração é válida para o Biodiesel analisado pelos autores (CONCONI; CRNKOVIC , 2013).

Ainda segundo Conconi e Crnkovic (2013), analisando-se as curvas de destilação e de DTG das amostras, nota-se o farneseno possui um intervalo estreito de temperatura e possui energia de ativação menor que o Biodiesel, porém ainda é maior que o do Diesel. Podendo influenciar diretamente no atraso de ignição, o qual é melhor quando aquela energia é pequena.

Observando-se os três gráficos, nota-se que com a presença do Biodiesel nas amostras, há um abaixamento da energia de ativação no término do processo, indicando um fator positivo da presença deste combustível. Com base nas curvas, sugere-se que na fase de pré-ignição o Diesel exerce forte influência nas misturas com farneseno e Biodiesel. O que ocorre nesta fase é a liberação de compostos leves do Diesel, promovendo a formação de outros compostos intermediários que sustentam a combustão em altas temperaturas (CONCONI; CRNKOVIC , 2013).

4.2.2 Propriedades Físico-Químicas do *Ultra Clean* Tm Diesel, o Biodiesel da Ls9

Diferentemente do Farneseno da Amyris, que tem uma gama de dados Físico-Químicos, o *Ultra Clean TM Diesel* da empresa LS9 possui poucos dados disponíveis na literatura. Este combustível originado da fermentação de açúcares e da biossíntese do ácido graxo é produzido por bactérias geneticamente modificadas. Com a propriedade de suportar períodos longos de armazenagem, o *Ultra Clean TM Diesel* ainda não cristaliza em temperaturas baixas (VW CAMINHÕES E ÔNIBUS, 2015).

Nos estudos de Ls9 Inc (2010) são mostrados algumas propriedades Físico-Químicas do Diesel da LS9. Na pesquisa há um comparativo entre o *Ultra Clean TM Diesel* e o Diesel de petróleo, conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Principais propriedades do combustível LS9 em relação ao Diesel de petróleo.

Propriedades do combustível	LS9 <i>UltraClean</i> TM Diesel	Diesel de Petróleo
Cetano	70	49
Aromáticos (% volume)	N/A	10
Enxofre (ppm)	12	15

Fonte: Adaptado de Ls9 Inc (2010)

Pode-se notar que nos aspectos de número de cetano que influencia diretamente na combustão do combustível, o Diesel da LS9 obteve mais vantagens, assim como aspectos ambientais, onde no Diesel de petróleo é de 10% por volume e estes compostos não se encontram no *Ultra Clean TM Diesel*. Este ainda possui menos enxofre em sua composição que o Diesel fóssil.

O mesmo autor, Ls9 Inc (2010), ainda realiza um comparativo entre o *Ultra Clean TM Diesel* e os Biodiesel de óleo de soja, palma e colza, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Principais propriedades do combustível LS9 em relação ao Biodiesel de óleos tradicionais

Propriedades do combustível	LS9 <i>UltraClean</i> TM Diesel	Soja	Colza	Palma
Cetano	70	53	55	60
Ponto de nuvem °C	-2	2	-2	13
Estabilidade Oxidativa (horas)	>6	3	3	5

Fonte: Adaptado de Ls9 Inc (2010)

Ao analisar a Tabela 15, percebe-se que o combustível da LS9 tem valores para cetano, ponto de nuvem e estabilidade quanto à oxidação bem melhores que os biodieseis comuns no Brasil. Estas três propriedades só ratificam a fala dos autores VW Caminhões e Ônibus (2015). Um exemplo é o tempo longo de armazenagem que é explicado pelo fato do *Ultra Clean TM Diesel* ter estabilidade de oxidação alta (>6 horas).

4.2.3 Propriedades Físico-Químicas do Soladiesel, o Diesel da Solazyme.

Na literatura não foram encontrados dados específicos sobre o Soladiesel BD da Solazyme, porém as poucas informações são muito relevantes. Uma empresa independente, que mede as emissões de gases que causam o efeito estufa, denominada *Life Cycle Associates*, fez análises com o combustível Soladiesel, onde constatou que em comparação ao Diesel fóssil, este combustível reduz de 85% a 93% as emissões. Outros testes foram feitos pelo

(NREL) Laboratório Nacional de Energia Renovável com uma mistura de 20% de Soladiesel ao Diesel de petróleo, os resultados evidenciam uma superioridade em relação ao Diesel sem mistura, apresentando um teor ultra baixo de enxofre, apresenta também uma redução de 10% de (THC) Hidrocarbonetos Totais, 20% de (CO) Monóxido de Carbono e ainda a redução de 30% de materiais particulados (AGROLINK, 2013; FLORES, 2015).

Segundo Flores (2015), o Soladiesel_{BD} originado de algas pode ser utilizado sem nenhuma modificação nos motores a Diesel. Afirma ainda que, o combustível da Solazyme é compatível com as especificações da norma ASTM 6751 para FAME- ésteres metílicos de ácidos graxos e atende a ASTM D975.

4.3 O Diesel de cana-de-açúcar e o meio ambiente

Nesta sessão, serão abordados os estudos existentes na literatura sobre o potencial de mitigação dos combustíveis renováveis das três empresas supracitadas neste trabalho.

4.3.1 Amyris (*Biofene*)

Segundo MCT (2012), em seu Parecer Técnico nº 3287/2012 emitido pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio acerca da solicitação de Parecer para Liberação Comercial de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) geneticamente modificada para produção de farneseno, cepa Y5056, foi possível gerar algumas conclusões sobre os efeitos adversos entre as possíveis interações entre os genes expressos em levedura e o transgene inserido, e ainda ações que resultem em alteração comportamental. Os estudos mostraram que não existem efeitos adversos entre genes e a linhagem utilizada de origem é de uso corriqueiro e segura.

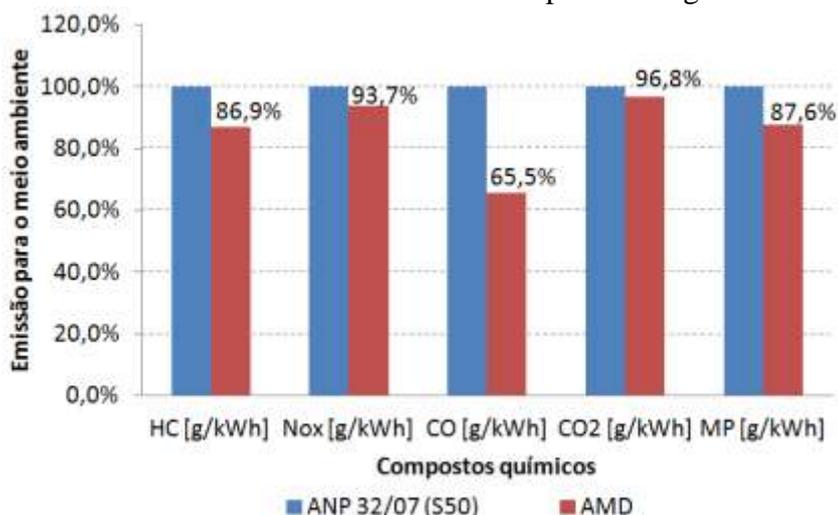
Em relação ao produto proveniente da fermentação, constatou-se que a substância já é encontrada na natureza de forma abundante, sendo tóxica apenas para insetos. A produção industrial será em regime fechado e as legislações brasileiras de biossegurança que visam proteger o meio ambiente, a agricultura e a saúde humana e animal, foram atendidas e intituladas de seguras (MCT, 2012).

Quanto aos benefícios do Diesel renovável, Amyris (2015) relata que em comparação do Diesel de petróleo, há uma redução acima de 80% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Outro benefício é a ausência de enxofre, fato este que melhora significativamente a qualidade do ar, minimizando a quantidade de material particulado e óxidos de nitrogênio emitidos.

No segundo semestre de 2009, a Mercedes-Benz realizou os primeiros testes com o Diesel de cana, estes testes foram realizados em motores de bancos de provas. Posteriormente, ocorreram testes em veículos e ônibus urbanos. Através destes testes, foi estimado uma redução dos gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), o qual teve redução superior a 90% em comparação ao Diesel de petróleo. Todos os gases geradores do efeito estufa são reciclados no processo, o qual começa na produção até o consumo, não gerando assim nenhum acúmulo na atmosfera (MERCEDDES-BENZ, 2015).

Segundo Mercedes-benz (2015), o Diesel de cana (AMD) quando comparado ao Diesel de petróleo S50, apresenta significativa redução, de acordo com o Gráfico 18. Os testes foram realizados em um motor EURO 5/ EEV.

Gráfico 18 - Resultado das emissões no Ciclo Europeu em Regime Transiente - ETC



Fonte: Adaptado de Mercedes-benz (2015)

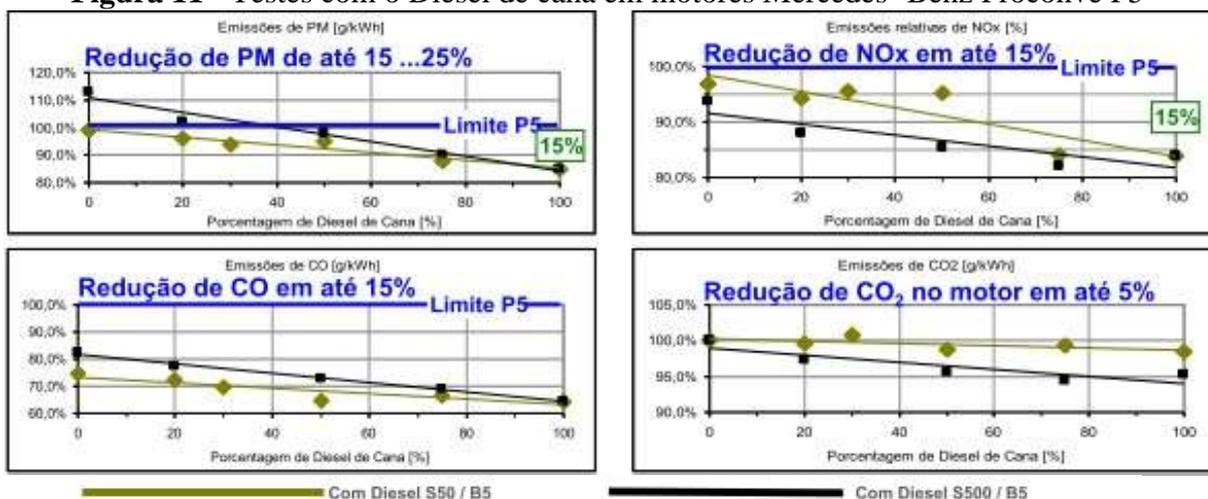
Observa-se no Gráfico 18 que, os óxidos de nitrogênio (NO_x) tiveram uma redução de 6,3% em relação do Diesel de petróleo; os materiais particulados (MP) tiveram redução de 12,4%, enquanto que a redução de dióxido de carbono (CO₂) foi de 3,2%; com 13,1% de redução para os hidrocarbonetos (HC) e uma redução maior nas emissões de monóxido de carbono (CO) com 34,5%.

A São Paulo Transporte (SPTrans) em parceria com a Amyris, realizaram testes na frota em regiões metropolitanas de São Paulo em rotas representativas. Os testes foram realizados durante seis meses, julho a dezembro de 2010, onde os combustíveis utilizados foram: uma mistura de 10% AMD (Diesel de cana) com Diesel B5 S50 (5% de Biodiesel) e outra somente com Diesel B5 S50 (5% de Biodiesel) para servir de referência (LIEBSCH, 2011). Com mais de 80 mil km acumulados, foi possível obter resultados de testes em motor

Mercedes- Benz PROCONVE P5. Também foram realizados outros testes com distintas porcentagens de misturas com o Diesel de cana, os quais foram comparados com Diesel B5 S50 e Diesel B5 S500. Estes resultados podem ser analisados na Figura 11.

Observa-se na Figura 11, que as emissões de materiais particulados (MP) tiveram uma redução de 15 a 25% em comparação ao Diesel B5 S50 e B5 S500. Ficou evidenciado que na mistura com o primeiro houve emissões abaixo do previsto na fase P5 do PROCONVE. Quanto as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), qualquer porcentagem de Diesel de cana em misturas com o Diesel B5 S50 e B5 S500, ficaram abaixo do previsto no PROCONVE P5, sendo que com o Diesel B5 S500 teve maiores reduções. O máximo de redução de NO_x foi até 15%.

Figura 11 - Testes com o Diesel de cana em motores Mercedes- Benz Proconve P5



Fonte: (LIEBSCH, 2011)

Para as emissões de Monóxido de Carbono (CO), qualquer porcentagem de Diesel de cana em misturas com o Diesel B5 S50 e B5 S500, ficaram abaixo do previsto no PROCONVE P5, sendo que com o Diesel B5 S50 teve maiores reduções. Com no máximo 15% de redução nas emissões. No entanto, para as emissões de Dióxido de Carbono no motor, o máximo de redução foi de 5%; as misturas com o Diesel B5 S500 obtiveram menores emissões para o meio ambiente.

A (COPPE) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia através de uma parceria com a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR) realizaram um dos estudos atuais mais completos com o Diesel de cana. O objetivo do projeto desenvolvido pelo Programa de Engenharia de Transportes (PET) da COPPE/UFRJ era buscar alternativas tecnológicas que possibilitassem a redução dos poluentes atmosféricos, para adequação a fase P7 do PROCONVE. Dentre os

diversos testes realizados, foram utilizados os combustíveis alternativos (AMD10 - Mistura de 90% de B5 e 10% de Diesel de cana-de-açúcar) e (B20 - Mistura de 80% de óleo Diesel de petróleo e 20% de Biodiesel) (COPPE, 2012).

A Tabela 16, mostra os dados obtidos das emissões de poluentes para o AMD10 e o B20, em comparação as fases P5 a P7 do PROCONVE. Foram considerados os seguintes poluentes, (HC) Hidrocarbonetos, (CO) Monóxido de Carbono, (MP) Material particulado e (NOx) Óxidos de Nitrogênio.

Tabela 16 - Atendimento aos limites de emissão de poluentes atmosféricos

Poluentes	PROCONVE			Amostras	
	FASE P5	FASE P6	FASE P7	AMD10	B20
HC (g/ kW.h)	0,66	0,46	0,46	Não informado	0,528
CO (g/ kW.h)	2,10	1,50	1,50	2,099	1,89
MP (g/ kW.h)	0,10 ou ,131	0,02	0,02	0,095	0,09
Nox (g/ kW.h)	5,00	3,50	2,00	5,00	5,15

Fonte: Adaptado de Coppe (2012).

Observando-se a Tabela 16 nota-se que, o AMD 10 estaria dentro do previsto para a fase P5 do PROCONVE, porém, não se enquadraria nas fases P6 e P7. Quanto ao B20, estaria dentro do previsto no P5, exceto para o poluente NO_x, e também estaria fora das normas do P6 e P7. Coppe (2012) destaca que a compilação destes dados ficou limitada a materiais públicos, juntamente com declarações de dados e informações emitidos por envolvidos nos testes.

4.3.2 LS9 (*Ultra Clean Diesel*™)

Atualmente ainda existem poucas literaturas que disponibilizam dados concretos sobre os benefícios ambientais do *Ultra Clean Diesel*™ da empresa LS9.

Segundo Ballesteros (2010) e LS9 Inc (2010), o *Ultra Clean Diesel*™ tem a vantagem de não precisar de adaptações na infraestrutura dos motores para sua utilização, além de ter uma pegada ambiental mais favorável que o Diesel fóssil, ele ainda emite 85% menos gases de efeito estufa que o Diesel não renovável.

O Diesel da LS9 não possui um composto carcinogênico comum em sua composição, o benzeno; possui apenas vestígios de enxofre. Estes dois compostos estão presentes no Diesel fóssil e representam malefícios ao meio ambiente (BALLESTEROS, 2010).

No trabalho de Rinelli (2012), as empresas *MAN Latin America* e a LS9 realizaram uma parceria, um projeto de testes, para verificar as emissões do combustível da LS9, o qual foi chamado na pesquisa de Biodiesel de cana. Os testes foram baseados nas normas do EURO V,

o qual é equivalente ao PROCONVE P7 no Brasil, onde os compostos analisados foram: (CO) Monóxido de Carbono; (NO_x) Óxidos de Nitrogênio; (MP) Material Particulado e (HC) Hidrocarbonetos. O combustível base utilizado foi o S50 (possui 50 ppm de enxofre em sua composição).

Foram feitos três testes para determinação dos valores, um deles foi o teste com Ciclo Europeu em Regime Constante (ESC), o qual o ciclo possui 13 modos de operar em regime constante. O segundo foi o Ciclo Europeu em Regime Transiente (ETC), o qual possui 1800 modos transientes, onde de segundo em segundo é capaz de simular condições reais de uso. E o Ciclo Europeu de Resposta em Carga (ELR), o qual determina a opacidade da emissão de escapamento, o ciclo tem uma sequência de quatro patamares invariáveis, com a quantidade de cargas evoluindo de 10% a 100% (CONAMA, 2008).

Analisando-se as Tabelas 14, 15 e 16, ficam evidenciados que o combustível da LS9 tem grande potencial para enquadrar o combustível S50 nas normas do EURO V e do PROCONVE P7.

Na Tabela 17, onde se tem o teste do Ciclo Estacionário Europeu - ESC nota-se que os níveis de óxidos de nitrogênio do S50 estão acima do permitido nas normas internacionais, com a presença de 20% de Biodiesel de cana da LS9 foi possível reduzir os níveis dos óxidos de nitrogênio, promovendo o seu enquadramento nas normas nacionais e internacionais. Nota-se ainda que o Biodiesel da LS9 puro enquadra-se dentro do EURO V e também do PROCONVE P7.

Tabela 17 - Testes Preliminares com Ciclo Europeu em Regime Constante (ESC)

Compostos	EURO V Limites (g/kWh)	Ciclo Estacionário Europeu (ESC) (g/kWh)							
		S50			S50 + 20% LS9			100% LS9	
		1	2	3	1	2	3	1	2
NO_x	2,00	2,19	2,13	2,1	1,82	1,87	1,9	1,48	1,51
HC	0,46	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CO	1,50	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,08
PM	0,02	0,018	0,018	0,016	0,016	0,018	0,017	0,014	0,012

Fonte: Adaptado de Rinelli (2012)

A Tabela 18, mostra testes preliminares com o Diesel de cana da LS9 com o Ciclo Europeu em Regime Transiente - ETC. Pode-se perceber que os níveis de óxidos de nitrogênio e materiais particulados do S50 estão acima do estabelecido, porém com a mistura com o Biodiesel da LS9, os valores que estavam acima tenderam a cair, ficando apenas os valores de materiais particulados limítrofes à norma. Em contrapartida, novamente o Biodiesel puro da LS9 ficou dentro dos padrões do EURO V e do PROCONVE P7.

Tabela 18 - Testes Preliminares com Ciclo Europeu em Regime Transiente (ETC)

Compostos	EURO V Limites (g/kWh)	Ciclo Transiente Europeu (ETC) (g/kwh)							
		S50			S50 + 20% LS9			100% LS9	
		1	2	3	1	2	3	1	2
NOx	2,00	2,079	2,125	2,203	1,92	1,933	1,923	1,74	1,8
HC	0,55	0,008	0,007	0,005	0,008	0,008	0,008	0,011	0,01
CO	4,00	0,131	0,137	0,161	0,155	0,147	0,16	0,248	0,199
PM	0,03	0,05	0,041	0,04	0,038	0,03	0,029	0,01	0,01

Fonte: Adaptado de Rinelli (2012)

Quanto à opacidade da emissão de escapamento, a Tabela 19 mostra valores do S50, valores do S50 com 20% do combustível da LS9 e os níveis de opacidade deste combustível puro.

Em todas as amostras analisadas, os níveis de opacidade ficaram dentro dos limites internacionais EURO V e também o nacional PROCONVE fase P7.

Tabela 19 - Teste Ciclo Europeu de Resposta em Carga (ELR)

Compostos	EURO V Limites (1/m)	Teste Europeu de Resposta a uma Carga (ELR)(1/m)							
		S50			S50 + 20% LS9			100% LS9	
		1	2	3	1	2	3	1	2
NOx	0,50	0,099	0,093	0,072	0,066	0,071	0,067	0,008	0,01

Fonte: Adaptado de Rinelli (2012)

Com base nos dados observados nas Tabelas 17, 18 e 19, é evidente que o combustível da LS9 denominado atualmente de *Ultra Clean Diesel™* cumpre o exigido pelas normas internacionais como o EURO V e também a norma nacional PROCONVE na fase P7.

4.3.3 Solazyme (Soladiesel)

Segundo o Parecer técnico nº 4203/2014 da CTNBio que trata da solicitação para liberação comercial de derivado de micro - organismo geneticamente modificado da classe I de risco biológico. A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança emitiu parecer favorável a solicitação da LS9, afirmando que o bioproduto de *P. moriformis* (linhagem S5223) não causa significativa degradação ambiental (CTNBio, 2014).

Foram feitos ainda, testes de ecotoxicidade com os bioprodutos para avaliar seus impactos na água, nas amostras analisadas não houve efeitos negativos nos bioindicadores, evidenciando que não são causadores de degradação ambiental (CTNBio, 2014).

A empresa Solazyme em parceria com a empresa Propel Combustíveis, a qual tem o título de liderança varejista de combustíveis renováveis e possui sede na cidade de Redwood na Califórnia, realizaram testes comerciais com o combustível Soladiesel originado pelas

algas. Como resultado das vendas em 30 dias, notou-se que nos postos onde havia o combustível com 20% de Soladiesel na mistura, as vendas tiveram um aumento de 35% em comparação aos locais que não tinham o Soladiesel. Este programa piloto de venda comercial do combustível da Solazyme foi um marco para a empresa (PROPEL COMBUSTÍVEIS, 2013).

As empresas fizeram uma pesquisa de opinião com seus clientes nas cidades de Redwood, San Jose, Berkeley, e Oakland. Ficou evidenciado que 92% dos clientes que participaram, estariam inclinados a comprar o Soladiesel derivado de algas, pela justificativa de contribuir com o meio ambiente. Cerca de 70% disseram que iriam comprar frequentemente o novo combustível derivado de algas (PROPEL COMBUSTÍVEIS, 2013).

Segundo a empresa Propel Combustíveis (2013), o Soladiesel BD atende as normas de qualidade ASTM e ainda vem mostrando vários outros benefícios como: melhor desempenho operacional em temperaturas frias e também benefícios ambientais. Houve um estudo da empresa *Life Cycle Associates* acerca dos níveis de emissão do Soladiesel_{BD}, resultando em 85 a 93% de redução das emissões de gases em relação do Diesel fóssil. O Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) realizou testes com uma mistura de 20% de Soladiesel ao Diesel de petróleo; os resultados mostraram que houve uma redução de 20% de monóxido de Carbono (CO) e uma redução de 10% nos hidrocarbonetos totais emitidos, em comparação ao Diesel convencional.

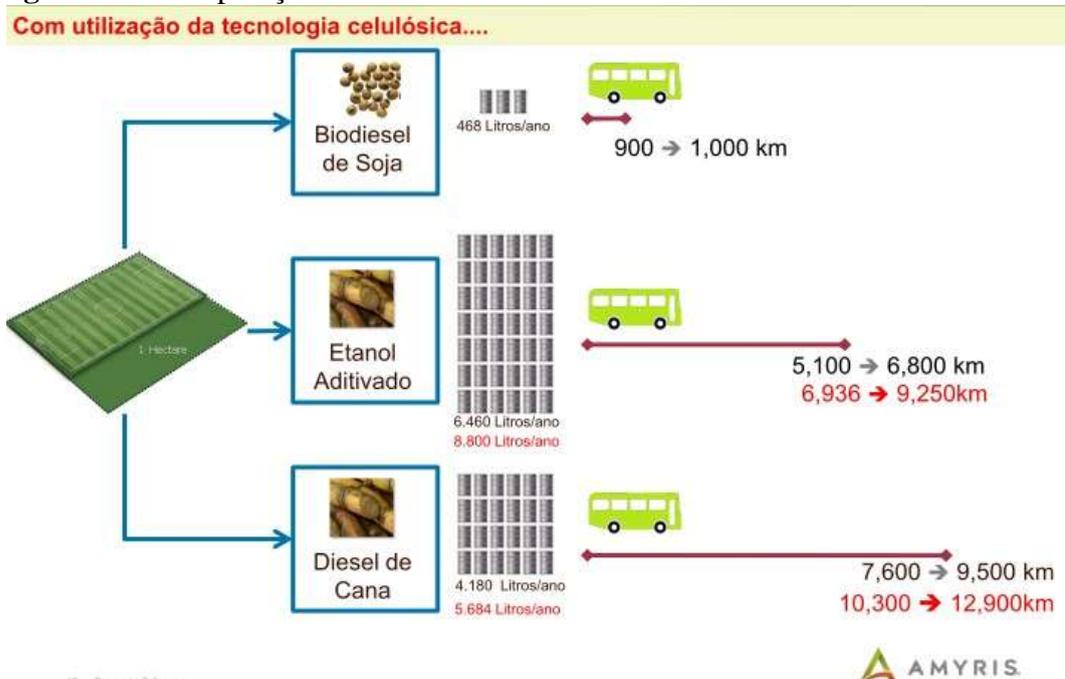
De acordo com Solazyme (2012b), foram realizados testes com o Soladiesel RD para efeito de registro no *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) ou Agência de Proteção Ambiental do Estado Unidos. O combustível cumpriu as especificações da ASTM D975 que regulamenta o Diesel fóssil. Teve reduções das emissões de NO_x de 10% em testes realizados em motores Diesel. Quanto ao número de cetano, a medição foi superior a 78, este resultado é 60% ou mais, superior ao gásóleo dos EUA. Estes dados indicam que o Soladiesel RD é um combustível de alta qualidade.

4.3.4 Produtividade do Diesel de Cana da Amyris

Loosli (2014) apresenta, na Figura 12, uma comparação da eficiência do uso da terra com o combustível da Amyris, o *BIOFENE*. Observa-se que com a produção de um hectare de soja produz-se 468 litros de Biodiesel por ano, gerando uma autonomia veicular de 900 a 1000 km. No entanto para a mesma área produtiva é possível produzir 6460 litros ao ano de etanol, dando uma autonomia aos veículos de 5100 a 6800 km. Caso seja utilizada a

tecnologia celulósica a produção de etanol chega a 8800litros ao ano com autonomia de 6936 a 9250 km. Comparando o Diesel de cana com o Biodiesel de soja, nota-se que o Diesel de cana apresenta uma produtividade de 793% maior por hectare que o Biodiesel. Utilizando a tecnologia celulósica a produtividade chega a 1114% em relação ao Biodiesel. A autonomia veicular do Diesel de cana é 800% superior à do Biodiesel. Considerando a utilização da tecnologia celulósica, chega a 1121%.

Figura 12 - Comparação da eficiência do uso da terra com combustíveis renováveis.



Fonte: (LOOSLI, 2014)

4.4 Contribuições sociais da utilização do Diesel de cana-de-açúcar

Segundo Rinelli (2012), o mercado global de Diesel cresce 1,5 trilhão litros/ano e possui uma demanda mundial três vezes maior que a gasolina. Fato como este motiva o desenvolvimento de economias, como: o setor rodoviário de carga, construção civil, transportes públicos e ferroviários, assim como o funcionamento de máquinas agrícolas, dentre outras. Em nível de Brasil, esse crescimento está em torno de 50 bilhões por ano, e almeja-se que em 10 anos esse crescimento será de mais 10 bilhões de litros.

A ExxonMobil é uma companhia multinacional do setor de petróleo, segundo seu panorama energético para 2040, a quantidade de veículos pesados como caminhões e trens, além de aviões e navios terá um aumento significativo de 70% no intervalo de 2010 a 2040.

Esse aumento será explicado por outros crescimentos, como a atividade econômica e pelo aumento também na circulação de bens e mercadorias (EXXONMOBIL, 2014).

A demanda no setor de transportes entre os anos de 2000 a 2040, terá um aumento significativo nos veículos, de aviação, marítima e ferroviária, em contra partida a demanda mundial por gasolina, incluindo o etanol, se manterá relativamente estável neste período (EXXONMOBIL, 2014).

Esse investimento das empresas, em um combustível substituto ao Diesel de petróleo, é motivado por alguns pontos essenciais, como: a venda de Diesel é mais lucrativa do que o álcool combustível. E para as usinas de cana, o consumo de Diesel é a segunda maior despesa depois da cana-de-açúcar. Por exemplo, para processar cerca de um milhão de toneladas de cana, se consome três milhões de litros de Diesel em atividades que vão desde a fase agrícola até o transporte (RINELLI, 2012).

Esse aumento previsto até 2040 fomentará a abertura de muitos empregos em vários setores da economia. Investimentos em tecnologias de motores e em engenharia genética prometem alavancar os cenários hipotéticos. A crescente independência dos países do Diesel de petróleo acarretará em menos importações deste combustível. O Brasil pode ser um dos maiores beneficiados neste contexto, pois possui um vasto território agrícola, com potencial para expansão.

O Brasil pode adentrar nesta corrida biotecnológica, de início realizando parcerias com as empresas norte americanas, sempre buscando um melhor acordo devido à commodity existente. Assim, caso haja um bom acordo entre as indústrias nacionais e internacionais acarretará benefícios ao produtor rural, aumentando sua renda por produzir cana com incentivos governamentais. Os preços dos fretes devem diminuir, pois o Diesel de cana fornece maior autonomia aos veículos. Seguindo na reação em cadeia, os preços dos alimentos e mercadorias podem diminuir, assim como os benefícios à saúde de cidadãos das grandes metrópoles, onde a poluição causada por veículos pesados leva diariamente várias pessoas com problemas respiratórios aos hospitais.

Segundo Holanda (2004), a produção de Biodiesel pode dar sustentação a um vasto programa de geração de empregos, tanto no mercado energético brasileiro como no mundial. O autor ainda revela estudos do Ministério do desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e do Ministério das cidades, onde para cada 1% de Biodiesel gerado pela participação da agricultura em substituição ao Diesel de petróleo, gera aproximadamente 45 mil empregados no campo, onde

cada um recebe anualmente um valor mediano de R\$ 4.900,00. Levando-se em conta que um emprego no campo gera três empregos na cidade, seriam criados ao todo 180 mil empregos.

Fazendo-se uma comparação entre a quantidade de postos de trabalho criados na agricultura empresarial e familiar. Naquela é necessário somente um trabalhador para 100 hectares cultivados, em contrapartida no campo são 10 hectares por trabalhador. Assim, nota-se que a agricultura familiar é de inegável importância para a geração de empregos e renda nas mais diversas regiões do país (HOLANDA, 2004).

4.5 Experiências da utilização do Diesel de Cana-de-Açúcar

Nesta seção, serão abordados alguns estudos e pesquisas nacionais sobre o Diesel de cana, independente da empresa proponente.

Ribeiro *et al.* (2013), realizaram um estudo sobre o Projeto Diesel de Cana - Rumo a 2016. Os autores analisaram durante um ano (02/2012 a 01/2013) o desempenho de 20 ônibus urbanos com uma mistura denominada de (AMD30), a qual é uma mistura de 30% de Diesel de cana-de-açúcar, 5% de Biodiesel e 65% de óleo Diesel fóssil. Analisaram em conjunto também, para efeito de comparação, uma mistura denominada de (B5), a qual é composta de 95% de Diesel fóssil com 5% de Biodiesel. Na pesquisa foram considerados alguns tópicos, como: aspectos técnicos, financeiros e ambientais.

Os resultados da pesquisa de Ribeiro *et al.* (2013) são significativos, em suma os veículos consumiram medidas superiores a 587 mil litros de mistura AMD30, percorrendo mais de 1,5 milhões de quilômetros. Com base nas duas propostas analisadas, os autores observaram que os ônibus que foram abastecidos com o AMD30, tiveram um rendimento (0,49%) em km/l maior e consumo (1,9%) por passageiro por quilômetro menor em relação à mistura B5.

Quanto aos aspectos ambientais, às duas misturas AMD30 e B5 apresentaram níveis de opacidade abaixo dos limites recomendados, Em comparação, o AMD30 teve uma redução de 0,59% menor que o B5. No que tange a prática, pode-se dizer que o AMD30 apresenta resultados equivalentes à utilização do combustível B5 nos testes de rendimento energético, consumo específico de combustível e também nas medidas de opacidade (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Para os aspectos tecnológicos, os resultados da pesquisa evidenciaram que não houve diferença no desempenho, nem na percepção dos motoristas. O trabalho encerra, recomendando a adição do (AMD100) da empresa Amyris para adição no Diesel B5 (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Outra pesquisa bastante relevante é a de Cachiolo (2012), que trata da avaliação dos impactos do uso de Biodiesel e Diesel de cana-de-açúcar nos custos de uma empresa de transporte urbano de cargas na cidade do Rio de Janeiro. O autor avaliou: variações nos custos operacionais e seus impactos nos lucros; redução nas emissões de poluentes atmosféricos em diferentes proporções de misturas de Biodiesel e Diesel de cana adicionado ao Diesel fóssil.

Para seus estudos, Cachiolo (2012), utilizou as misturas descritas na Tabela 20.

Tabela 20 - Detalhamento das amostras de combustíveis analisadas

Biocombustível	Sigla	Descrição
Biodiesel	B10	90 % de Diesel de petróleo e 10% de Biodiesel
	B20	80% de Diesel de petróleo e 20% de Biodiesel
	B50	50 % de Diesel de petróleo e 50% de Biodiesel
	B80	20 % de Diesel de petróleo e 80% de Biodiesel
	B100	100% de Biodiesel
Diesel de Cana	AMD5	90 % de Diesel de petróleo, 5% de Biodiesel e 5% de Diesel de cana
	AMD10	85 % de Diesel de petróleo, 5% de Biodiesel e 10% de Diesel de cana
	AMD20	75 % de Diesel de petróleo, 5% de Biodiesel e 20% de Diesel de cana
	AMD50	45% de Diesel de petróleo, 5% de Biodiesel e 50% de Diesel de cana
	AMD80	15 % de Diesel de petróleo, 5% de Biodiesel e 80% de Diesel de cana
	AMD100	100% de Diesel de cana

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

Os resultados, decorrentes das análises dos impactos da utilização de misturas de Biodiesel e Diesel de cana ao Diesel fóssil, foram seccionados nos custos operacionais e nas emissões de poluentes atmosféricos locais, os quais foram: o monóxido e carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), materiais particulados (MP) e ainda dióxido de carbono (CO₂). Tais resultados encontram-se nas Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34. Quanto aos tipos de veículos utilizados, o autor utilizou o Ford Cargo 1417 4x2 representando os veículos leves, o Volkswagen 24-250 6x2 representando os veículos médios e o Volkswagen Titan 18-310 representando os veículos pesados (CACHIOLO, 2012).

Segundo Cachiolo (2012), a utilização do B20 e AMD20 proporcionaria um uso mais próximo ao comercial, pois teria uns aumentos nos custos de 3% e 4,2%, respectivamente. Nessa proporção de mistura, o Biodiesel poderia mitigar de 15% de monóxido de carbono (CO), 20% de hidrocarbonetos (HC), 15% de materiais particulados (MP), 16% de dióxido e carbono (CO₂) e aumento de NO_x em 4%, em contra partida para o Diesel de cana essas porcentagens seriam: de 7% para o (CO), 5% para o (NO_x), 4% para os (HC), 1,5% (MP) e 20% (CO₂). Nota-se que o AMD20 seria uma proposta ambiental melhor, embora tenha um custo operacional 1,2% maior. Para aplicações de misturas acima de AMD20 e B20,

demandaria maior produção, podendo concorrer com o etanol e açúcar no mercado. E para misturas de 50% ou maiores porcentagens, aumentariam em 10% os custos, levando-se em conta que os preços do Biodiesel e Diesel de cana são 50% e 70% maiores em relação ao Diesel fóssil, seriam necessários incentivos governamentais ou o desenvolvimento de tecnologias para promover uma real e viável comercialização.

A terceira pesquisa abordada foi a de Wilson *et al.* (2015), onde os autores fizeram estudos nos ônibus articulados da BRT (*Bus Rapid Transit*), onde testaram o Diesel de cana na frota (AMD100 -100% de Diesel renovável de cana) e o (AMD10- 10% de Diesel renovável de cana e 90% de Diesel metropolitano)

O BRT é um sistema de transporte que utiliza ônibus articulados de grande capacidade, que circulam em vias segregadas e exclusivas formando uma rede integrada de corredores e linhas de ônibus. Utiliza integração tarifária entre linhas e pagamento antecipado, proporcionando mais conforto e rapidez para os usuários (WILSON *et al.*, 2015, p.02).

De acordo com Wilson *et al.* (2015), os ônibus articulados já utilizam a tecnologia do EURO V e conseqüentemente da fase P7 do PROCONVE. Estes ônibus (Figura 13) podem substituir até três ônibus convencionais e transportam de 5 a 45 mil usuários por hora e por trecho percorrido.

Figura 13 - Identificação visual dos ônibus do projeto BRT + Verde.



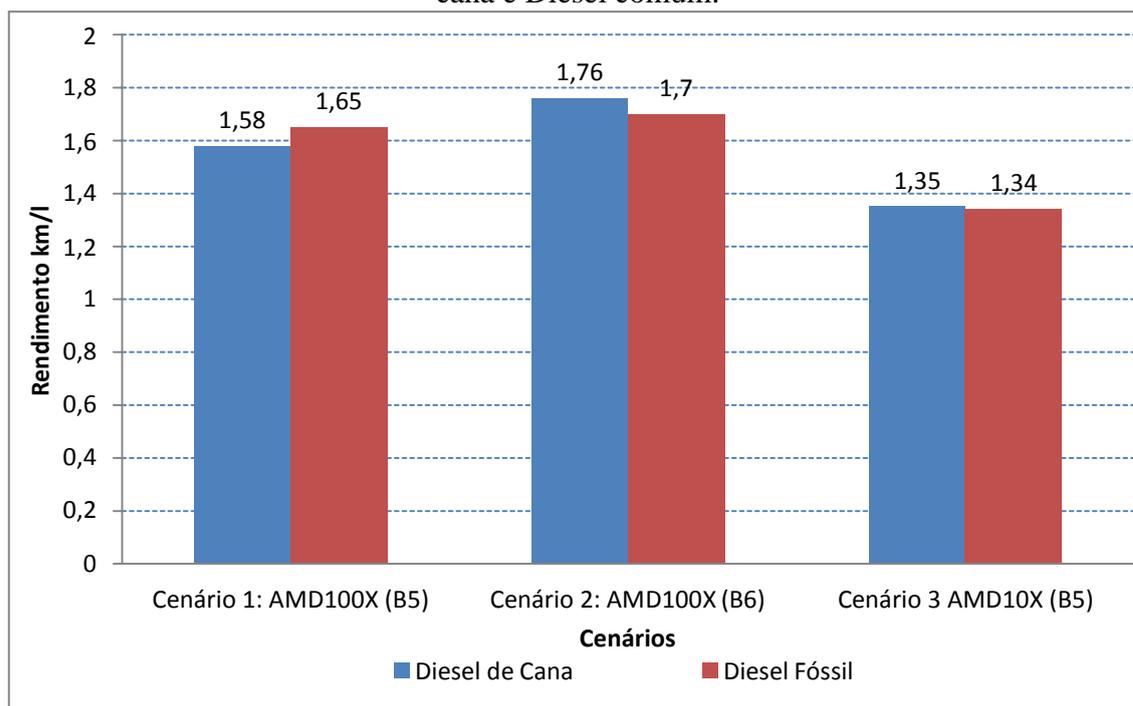
Fonte : (WILSON *et al.*, 2015).

Durante os estudos e análises em 2014, houve mudanças na porcentagem de Biodiesel ao Diesel fóssil, este fato fez com que os autores analisassem três cenários, um com a mistura B5, outro com B6 e outro com B7.

Analisando-se o Gráfico 19 tem-se um comparativo, de rendimento na unidade de km/l, entre o Diesel fóssil e o Diesel de cana em distintos cenários. Nota-se que no cenário 1, o Diesel fóssil levou vantagem no rendimento, cerca de 4,43% acima do Diesel de cana

(AMD10). No cenário 2, o Diesel de cana teve 3,4% de rendimento maior em relação ao Diesel convencional e para o cenário 3, com uma diferença de 0,01 km/l, o rendimento não foi muito satisfatório, porém a equivalência motiva a substituição pelo Diesel de cana.

Gráfico 19 - Comparação do rendimento médio dos veículos nos três cenários com Diesel de cana e Diesel comum.



Fonte: (WILSON *et al.*, 2015).

Em vista dos resultados e com enfoque nos aspectos econômicos, constatou-se que os veículos não precisam de adaptação para as porcentagens utilizadas e considerando que o custo do Diesel da cana é quatro vezes superior ao Diesel de petróleo, será necessário de início que o governo forneça subsídios para a efetiva utilização (WILSON *et al.*, 2015).

Os autores Izquierdo, Marques e Rama (2014), publicaram em 2014 um estudo cujo objetivo era avaliar *in locu* o desempenho e a durabilidade, nos sistemas de injeção e alimentação de combustível, de três ônibus urbanos que utilizaram o Diesel de cana AMD10 nas suas locomoções.

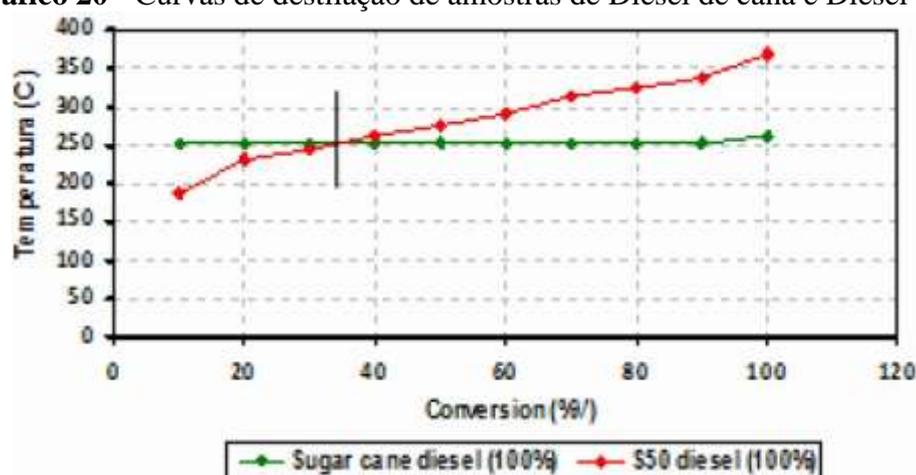
Os resultados desta pesquisa mostraram que, a mistura AMD10 em mistura com o óleo S50/B5, não alterou negativamente as propriedades físicas- químicas estabelecidas na Resolução ANP nº 42/2009, a qual define do óleo S50/B5. Não foram encontradas nenhuma alteração nas peças do conjunto do sistema de combustível, nem componentes do motor e nenhuma alteração no sistema de injeção (IZQUIERDO; MARQUES; RAMA, 2014).

Dois ônibus (316 e 318) analisados, apresentaram aumento no consumo de combustível, cerca de 3,13% para o 316 e 0,89% para o 318. Esta porcentagem é gerada em comparação com a média da frota que utilizou o Diesel S50/B5. No entanto, para o ônibus 317, houve uma redução de 0,44% em relação aos ônibus movidos a Diesel S50/B5. Esse ônibus mostrou uma leve formação de depósitos, que provavelmente gerou uma curva de débito injetado abaixo do estado de fornecimento. Porém, os dados são estatisticamente insuficientes para atribuir ao AMD10 essa injeção (IZQUIERDO; MARQUES; RAMA, 2014).

Outros autores como Ribeiro, Chaves e Dias (2015), buscaram estudar o desempenho e as emissões de motores de veículos movidos a Diesel de cana. Os testes foram realizados com o Diesel de cana da empresa Amyris em um motor D0834 MAN P7 Proconve (Euro V).

Além de trazer dados sobre emissões de poluentes e gases de efeito estufa, os autores em questão apresentaram a energia de ativação do Diesel de cana em comparação ao Diesel fóssil. Sabendo-se que o Diesel S50 possui hidrocarbonetos de 5 a 30 carbonos e que o Diesel de cana é uma substância pura com 15 carbonos, pode-se mensurar como ficaria a curva de destilação de ambos os combustíveis, conforme o Gráfico 20 (RIBEIRO; CHAVES; DIAS, 2015). Nota-se que devido o Diesel da Amyris ser um puro, mantém uma curva praticamente constante, com variação no final. E o Diesel S50 tem uma curva crescente. A maior volatilidade do Diesel S50 vai favorecer uma queima completa na primeira fase de maior pressão na câmara de combustão, enquanto que o Diesel de cana terá uma queima incompleta, favorecendo as emissões de poluentes.

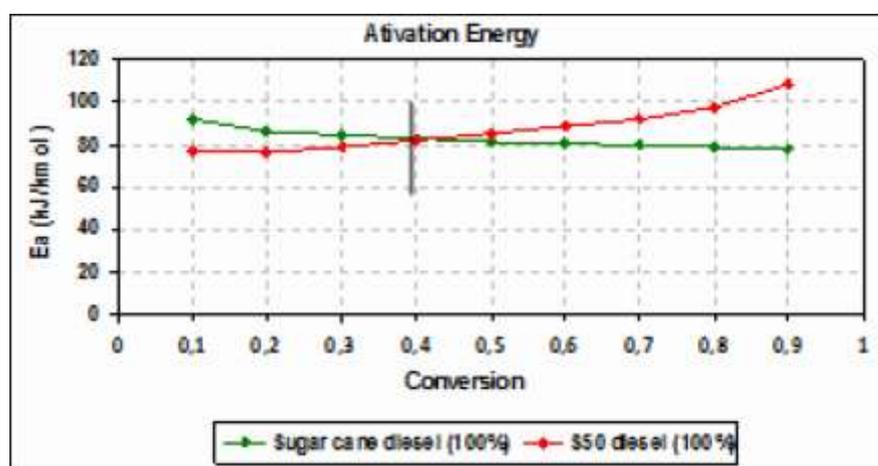
Gráfico 20 - Curvas de destilação de amostras de Diesel de cana e Diesel S50



Fonte: (RIBEIRO; CHAVES; DIAS, 2015)

A energia de ativação é importante para mensuração do atraso da ignição e consequentemente da qualidade da combustão. Nota-se no Gráfico 21 que, a energia de ativação do Diesel de cana é superior ao Diesel S50 até a conversão 0,39, depois as curvas se invertem. Estes dados mostram que o Diesel de cana necessita de um suporte energético adicional para fazer a curva de energia de ativação reduzir, isso facilitará o processo de queima na combustão (RIBEIRO; CHAVES; DIAS, 2015).

Gráfico 21 - Energias de ativação (E_a) para as conversões entre 0,1 e 0,9 do processo de combustão do Diesel de cana-de-açúcar e Diesel S50



Fonte: (RIBEIRO; CHAVES; DIAS, 2015)

Os autores ainda concluem em seus estudos que o Diesel de cana emite uma quantidade de NO_x menor que o Diesel S50, juntamente com uma redução nas emissões de materiais particulados e níveis de opacidade

Outro autor que colaborou para a literatura com estudos sobre o Diesel de cana, é Carvalho (2014), onde tinha por objetivo comparar o Diesel S10 e o Diesel S500 com o Diesel renovável farneseno, derivado de cana-de-açúcar. O autor também analisou as misturas entre estes combustíveis, como 80% de Diesel S10 e 20% de Farneseno, para verificar as possibilidades positivas ou negativas.

Carvalho (2014) teve as seguintes conclusões em suas pesquisas, verificou que a potência não teve variação superior a 14% nos combustíveis analisados. E que na medida em que a carga aumenta, a variação fica ainda menor, em torno de 4% no estado de carga máxima.

Outra conclusão foi em relação à mistura de 80% Diesel S10 com 20% de Farneseno, essa mistura trouxe significativa mitigação dos poluentes atmosféricos, como os óxidos

nitrosos (NO_x) e dióxido de enxofre (SO₂). Essa porcentagem de mistura ainda favorece o aumento da potência do motor, sem precisar de qualquer regulação ou alteração.

Um dos estudos mais completos realizados no país até agora foi da COPPE (2012). Esta pesquisa foi uma parceria da COPPE/UFRJ com a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR), cujo objetivo era propor alternativas tecnológicas para serem utilizadas nos ônibus no Rio de Janeiro entre os anos de 2014 a 2016, nos eventos da Copa do Mundo de Futebol até as Olimpíadas.

Para melhor entendimento da pesquisa, no ANEXO H, encontram-se todas as siglas utilizadas para denominar as misturas de combustíveis, juntamente com a motorização dos veículos.

Em relação do Diesel de cana, Coppe (2012), utilizou dois tipos de siglas: a primeira P7D_AMD10 refere-se a um veículo convencional, motor dianteiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de Diesel de cana) e a segunda P7P_AMD10 que se refere a um veículo padron, motor traseiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de Diesel de cana).

No município do Rio de Janeiro, o sistema de transporte coletivo de ônibus nomeia as principais linhas regulares de circulação como: troncais, alimentadoras e interbairros. As linhas troncais são classificadas também como principais ou secundárias (COPPE, 2012).

Como resultado de adequar as linhas de ônibus às tecnologias utilizadas, no âmbito dos aspectos técnicos ou políticos, os autores fizeram uma distribuição de acordo com a Tabela 21. Os aspectos técnicos levam em conta a existência do produto e disponibilidade para uso, além de ter uma cadeia consolidada e o risco de não atendimento a demanda é relativamente baixa. Quanto aos aspectos políticos levam-se em conta a aceitação do operador veicular e também aceitação do poder público, não requerer demasiado financiamento, tem que possuir baixos riscos quanto à fabricação e utilização do produto, e principalmente alta potencialidade em reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, além de incentivar os renováveis (COPPE, 2012).

Tabela 21 - Síntese da análise das tecnologias em função do custo operacional.

Linhas	Aspectos Analisados	Tecnologias	
		Opção mais adequada	Opção menos adequada
Interbairros e alimentadoras	Aspectos Técnicos	P7P, P7D, P7D_B20	P7P_ED95, P7T_GNVD
	Aspectos Políticos	P7D, P7D_AMD10, P7D_B20, P7P, P7P_AMD10	P7H_S, P7T_GNVD, P7P_ED95

continuação...

Linhas	Aspectos Analisados	Tecnologias	
		Opção mais adequada	Opção menos adequada
Interbairros e alimentadoras	Poluentes Locais	P7H_P	P7T
	Emissões de CO ₂	P7D_AMD10, P7D_B20, P7H_P	P7H_S, P7T_GNVD, P7T
Linhas Troncais secundárias	Aspectos Técnicos	P7A_18m, P7A_21m	P7P_AMD10, P7P_ED95
	Aspectos Políticos	-	P7P_ED95
	Poluentes Locais	-	P7P, P7P_AMD10
	Emissões de CO ₂	-	P7P, P7P_AMD10

Fonte: (COPPE, 2012).

De acordo com a Tabela 21, percebe-se que nas linhas interbairros e alimentadoras, o P7P_AMD10 e o P7D_AMD10 são mais adequados quanto aos aspectos políticos e mais adequados para emissões de dióxido de carbono. Quanto às linhas troncais secundárias, o P7P_AMD10 foi taxado de opção menos adequada quanto aos aspectos técnicos, quanto as poluentes locais e quanto as emissões de CO₂.

Ao término do Relatório final, Coppe (2012), afirma que, observando todas as limitações das proposições levantadas, a tecnologia de ponta, ainda distante da situação ideal, poderia ter facilmente o apoio de mecanismos de financiamento direcionados pelo FINAME - Financiamento de máquinas e equipamentos, evidentemente com ajustes na taxa de financiamento.

Todas as pesquisas analisadas neste trabalho, acerca da utilização dos combustíveis biotecnológicos provenientes de fungos e leveduras, são de grande valia para o desenvolvimento energético mundial, pois as empresas Amyris, Solazyme e LS9 se destacam no cenário mundial de engenharia genética para obtenção de combustível renovável.

Para uma possível consolidação destes combustíveis que são substitutos ao Diesel fóssil, são necessários ainda mais testes e otimizações para diminuir os custos dos micro-organismos. Esses custos ainda não foram divulgados pelas empresas supracitadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir alguns aspectos importantes do Diesel de cana no cenário brasileiro.

O processo industrial da empresa Amyris foi disponibilizado na literatura de forma detalhada, e em comparação aos processos de produção do Diesel fóssil e do Biodiesel, revelou ter uma planta mais simples, assemelhando-se ao processo de produção do etanol, pois existe somente uma etapa de fermentação.

As empresas LS9 e Solazyme disponibilizaram seus processos de forma geral, sem muitos detalhes. Ambos mostraram serem simples para produção, principalmente o da LS9, pelo fato de ser em um único estágio. Quanto a Solazyme, não foi possível identificar todas as etapas do processo de maneira precisa.

As propriedades Físico-Químicas dos combustíveis das empresas mostraram que se enquadram nas especificações nacionais e internacionais para comercialização.

Em relação ao enquadramento do combustível da Amyris, o Biofene, estudos mostraram que o mesmo atende, atualmente, somente a fase P5 do PROCONVE, necessitando de mais investimentos para se enquadrar a fase P7.

O *Ultra Clean* da LS9 se enquadra dentro das normas nacionais e internacionais, PROCONVE e EURO V.

Para Soladiesel da Solazyme, não há estudos na literatura sobre os níveis de emissões, não permitindo que seja feita análise junto aos programas nacionais e internacionais de emissões de poluentes e gases de efeito estufa.

Observou-se que o Biofene da Amyris, possui uma superioridade em relação à produção por hectare e a autonomia que dá aos veículos. A produtividade do Diesel de cana por hectare varia entre 800% e 1114% em relação ao Biodiesel de soja. Quanto à autonomia, o ganho adicional varia entre 800% e 1121%.

A produção em escala é um problema no mercado de energia renovável, no entanto, considerando a grande diferença de produtividade do diesel de cana-de-açúcar em relação ao Biodiesel, o fracasso da agricultora familiar no setor pode ser minimizado através de políticas públicas apropriadas, bem como investimento dos produtores de Diesel renovável do setor privado.

A incorporação do Diesel de cana na matriz energética brasileira, dentre outros aspectos, depende do Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar, já disponível, que prevê a expansão da cana em várias áreas antes relegadas. Esta ferramenta técnica-científica

evidencia rigorosamente o clima e o solo, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais. Estes dados são importantes para orientar a expansão sustentável da cana e embasar os investimentos necessários.

Embora o Brasil tenha a matéria prima e espaço territorial promissor, até que desenvolva tecnologia nacional, o Brasil, para incorporar o diesel de cana na matriz energética brasileira, será dependência das tecnologias estrangeiras.

Para o sucesso da produção e comercialização do diesel de cana, no Brasil, tanto poder público como iniciativa privada deverão atentar-se para os seguintes aspectos:

- a criação de mercado aos moldes do Biodiesel, implantando plantas de produção de diesel de cana acopladas as já existentes usinas de etanol ;
- o investimento em tecnológico nacional para redução do preço do diesel renovável, assim como ocorreu com o etanol e biodiesel, que envolvam diversas rotas biotecnológicas;
- melhoria da qualidade do diesel de cana, para promover o enquadramento do Brasil nas normas do PROCONVE e EURO V.
- estimular o consumo do diesel de cana para a geração de energia, em ferrovias, hidrovias, dentre outros, substituindo o diesel fóssil;

As parcerias entre as indústrias nacionais e internacionais poderão gerar emprego e renda no campo, fortificando a agricultura familiar. Como o Brasil ainda tem poucas indústrias de etanol e açúcar, de inicio seria necessário acoplar os equipamentos nas indústrias já existentes, fato este que já foi realizado pela empresa Amyris. Todos esses investimentos e estudos, por um combustível menos poluente, poderão fazer o Brasil estar atendendo aos acordos internacionais de emissões e atendendo aos requisitos do PROCONVE e EURO V.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. R. e; VIEIRA, J. N. S.; RAMOS, S.Y. Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel: Diretrizes, desafios e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 3, p.5-18, fev. 2002.

AGROLINK. **Diesel renovável à base de microalgas da Solazyme é bem aceito nos EUA**. 2013. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/noticias/diesel-renovavel-a-base-de-microalgas-da-solazyme-e-bem-aceito-nos-eua_167833.html>. Acesso em: 27 jul. 2015.

ALEME, H. G. **Determinação de parâmetros físico-químicos do óleo diesel a partir de curvas de destilação utilizando técnicas quimiométricas**. 2011. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ALVES, A. R. F. **Doenças alimentares de origem bacteriana**. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2012.

ALVES, C. F. M. **Bactérias enteropatogênicas envolvidas em doenças transmitidas por alimento e diarreias agudas em minas gerais no período de 2006 a 2008**. 2009. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Microbiologia, Pós- Graduação em Microbiologia Aplicada às Ciências da Saúde do Instituto de Ciências Biológicas da Ufmg, Belo Horizonte, 2009.

ALVES, F. C.; BOMTEMPO, J. V. **O Futuro dos Biocombustíveis**, 2012. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2012/05/o-futuro-dos-biocombustiveis/19395>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

AMYRIS. **History**. 2014a. Disponível em: < <http://amyris.com/our-company/history> >. Acesso em 5 de nov. 2014

AMYRIS. **Diesel de cana**. 2015. Disponível em: <<https://amyris.com/products/fuels/diesel/>>. Acesso em: 8 mar. 2015.

AMYRIS INC (Emeryville). **Identification of The Substance/Mixture and of the Company/Undertaking**. 2014b. Disponível em: <<https://farnesene.net/wp-content/uploads/2014/03/amyris-safety-data-sheet.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2015.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. Brasília. ANEEL. 2ª edição. 2005.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. Brasília.ANEEL. 3ª edição.2008.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal do Biodiesel**: Agosto de 2015. Brasília: Ubrabio, 2015.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP N° 45, de 25 de agosto de 2014**. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=26/08/2014&jornal=1&pagina=68&totalArquivos=88>>. Acesso em: 13 de mai. de 2015.

BALLESTEROS, J. **LS9's UltraClean Diesel™ Receives EPA Registration**. 2010. Disponível em: <<http://www.prweb.com/releases/2010/04/prweb3867134.htm>>. Acesso em: 21 maio 2015.

BEDOUKIAN RESEARCH (Estados Unidos). **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**: (e)-beta-FARNESENE, 2015. 6 p.

BIODIESEL. **Matérias-Primas para a Produção de Biodiesel**. Disponível em: <http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal=7&canallocal=12&canalsub2=34&id=82> Acesso: 02 de Maio de 2013.

BIODIESELBR. **Retrospectiva 2005 - Legislação**. 2006. Disponível em: <<http://www.Biodieselbr.com/Biodiesel/retrospectiva/2005.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

BIODIESELBR. **História e Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.Biodieselbr.com/Biodiesel/historia/Biodiesel-historia.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

BIOSAFETY CLEARING-HOUSE. **Organism**. Disponível em: <<https://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=107863>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **PROBIODIESEL**: Programa Brasileiro de Biodiesel. 2015a. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/internet/comissao/index/perm/capr/CAPR_BIOMCT.pdf>. Acesso em: 01 set. 2015.

BRASIL CAMINHONEIRO. **MAN Latin America divulga resultados de testes com diesel de cana-de-açúcar em motores Euro 5**. 2013. Disponível em: <<http://www.brasilcaminhoneiro.com.br/V4/tecnologias/man-latin-america-divulga>>.

resultados-de-testes-com-diesel-de-cana-de-acucar-em-motores-euro-5/>. Acesso em: 18 maio 2015.

BRASIL. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - Ctnbio. Ministério da Ciência e Tecnologia (Ed.). **Parecer Técnico:** Processo 01200.003590/2009-85. Brasília: MCT, 2009. 4 p. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1325.doc>. Acesso em: 05 maio 2015.

BRASIL. Lei nº 9478, de 6 de agosto de 1997. Brasília, Disponível em: Acesso em: 30 abr. 2015.

BRASIL. Lei nº 11097, de 13 de janeiro de 2005. **Dispõe Sobre A Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira; Altera As Leis N°s 9.478, de 6 de Agosto de 1997, 9.847, de 26 de Outubro de 1999 e 10.636, de 30 de Dezembro de 2002; e Dá Outras Providências.** Brasília, DF: D.O.U, 14 jan. 2005. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=8&data=14/01/2005>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 13033, de 24 de setembro de 2014. **Dispõe Sobre A Adição Obrigatória de Biodiesel Ao óleo Diesel Comercializado Com O Consumidor Final; Altera As Leis nos 9.478, de 6 de Agosto de 1997, e 8.723, de 28 de Outubro de 1993; Revoga Dispositivos da Lei no 11.097, de 13 de Janeiro de 2005; e Dá Outras Providências.** Brasília, 2014b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm#art6>. Acesso em: 10 set. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanço Energético Nacional (BEN) 2015.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2015d. Disponível em: <<http://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompleatas.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BIODIESEL: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.** 2015b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/Biodiesel/menu/programa/historico.html>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento Agrário. **O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?** 2015c. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-Biodiesel/o-que-e-o-programa-nacional-de-producao-e-uso-do-Biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

BRASIL. Portaria nº 81, de 26 de novembro de 2014. **Dispõe Sobre Os Critérios e Procedimentos Relativos à Concessão, Manutenção e Uso do Selo Combustível Social.** Brasília: D.O.U, 27 nov. 2014a. p. 63-67. Disponível em: <[http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_627/Portaria MDA 81-2014 - Selo Combustível Social \(1\).pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_627/Portaria%20MDA%2081-2014-Selo%20Combustível%20Social%20(1).pdf)>. Acesso em: 07 ago. 2015.

CACHIOLO, A. D. **O Impacto do Uso De Biodiesel e Diesel de Cana - de - açúcar nos Custos de uma Empresa de Transporte Urbano de Cargas.** 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, A. L. V. de. **Desempenho e emissões de gases de um MCI-diesel utilizando óleo diesel e mistura de biocombustível.** 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Ciências Térmicas e Fluidos, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2014.

CETESB (São Paulo). **Riscos ao fogo:** Ponto de fulgor. 2015. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/RISCO_HELP.htm>. Acesso em: 13 ago. 2015.

CHEBI. **CHEBI:10418 - trans- β -farnesene.** 2015. Disponível em: <<http://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:10418>>. Acesso em: 04 maio 2015.

CHAMBERS, N. **Solazyme Faz Primeiro Algas Diesel para atender às rigorosas Padrão dos EUA.** 2008. Disponível em: <<http://gas2.org/2008/06/11/solazyme-makes-first-algae-diesel-to-meet-strict-us-standard/>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO 403:** Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências. Brasília: D.O.U, 2008

CONCONI, C. C.; CRNKOVIC, P. M. Thermal behavior of renewable diesel from sugar cane, Biodiesel, fossil diesel and their blends. **Fuel Processing Technology**, [s.l.], v. 114, p.6-11, out. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.fuproc.2013.03.037. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.03.037>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **Instrução Normativa CTNBio nº 7, de 06.06.97:** Normas para o trabalho em contenção com organismos geneticamente modificados - OGMs. Brasília: D.O.U, 1997. Disponível em: <<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/135.html>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **PARECER TÉCNICO N° 4203/2014**: Solicitação de parecer para liberação comercial de derivado de micro-organismo geneticamente modificado da classe I de risco biológico. Brasília, 2014. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0002/2021.doc>. Acesso em: 13 maio 2015.

CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **PROCESSO 01200.00359**: Parecer consolidado sobre o pleito de liberação comercial de *Saccharomyces cerevisiae* cepa 1979 gene. 2009. 8 p. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1324.doc>. Acesso em: 07 maio 2015.

COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Colorset, 2012. 140 p.

COSTA NETO, P. R. *et al.* Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, [s.l.], v. 23, n. 4, p.531-537, 2000. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-40422000000400017.

DENARI, G. B. CAVALHEIRO, Eder Tadeu Gomes. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. São Carlos: IQSC USP, 2012.

DIB, F. H. **Produção de Biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de Biodiesel e proporções de mistura em um motor-generador**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2009.

EXXONMOBIL. **Panorama Energético**: Perspectivas para 2040 — Destaques. 2014. Disponível em: <<http://exxonmobil.com.br/Brazil-Portuguese/PA/Files/PanoramaEnergetico2014.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **NOTA TÉCNICA DEA 13/14**: Demanda de Energia-2050. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **Por que a Solazyme, Amyris e LS9 querem o Brasil?** 2012. Disponível em: <<http://colunas.revistaepocanegocios.globo.com/empresaverde/2012/04/11/por-que-a-solazyme-amyris-e-ls9-querem-o-brasil/>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

FLORES, A. **Solazyme procura soluções**. 2015. Disponível em: <<http://energyvulture.com/2015/07/24/solazyme-seeks-solutions/>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

FOLQUENIN, E. K. F. **Validação das análises físico-químicas exigidas pel a anp para misturas diesel – Biodiesel**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Aplicada, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4º Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

GORGULHO, G. **Empresa de biotecnologia vai produzir diesel de cana no Brasil**. 2011. Inova Unicamp. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=diesel-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 02 maio 2015.

HISTORIA DA LEGISLAÇÃO SOBRE O ETANOL. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/historia-legislacao/>> Acesso em: 01 de jan. 2015.

HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004. 202 p. Cadernos de altos estudos. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/altosestudios/pdf/Biodiesel-e-inclusao-social/Biodiesel-e-inclusao-social>>. Acesso em: 27 maio 2015.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**: Proconve/ Promot. 3. ed. Brasília: IBAMA DIQUA, 2011. 584 p.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programas de Controle de Emissões Veiculares**. 2015. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

IONASHIRO, G. M. **Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo: Giz, 2004.

IZQUIERDO, L. S.; MARQUES, G. G.; RAMA, P. **Avaliação dos testes experimentais com diesel de cana (AMD 10) em frota de ônibus urbanos na cidade de São Paulo**. Blucher Engineering Proceedings, São Paulo, v. 1, n. 2, p.8-23, ago. 2014. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliao-dos-testes-experimentais-com-diesel-de-cana-amd-10-em-frota-de-nibus-urbanos-na-cidade-de-so-paulo-8928>>. Acesso em: 24 maio 2015.

LIEBSCH, A. **Diesel de Cana**. 2011. Disponível em: <<http://www.Biodiesels.com.br/wp-content/uploads/2012/11/13h4528-07adilsonliebsch-amyrisbrasilnoticiastrocarlinkdobanner-110802143852-phpapp02.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

LIMA, A. E. A. de. **Avaliação e Comparação do Número de Cetano Obtido por Métodos Alternativos (Normalizados e não Normalizados) – Uma Análise Estatística**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2012.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.1596-1608, 2009. Fap UNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-40422009000600044.

LOOSLI, E. **Diesel de Cana para frotas metropolitanas**. 2014. Disponível em: <[http://frotasefretesverdes.com.br/2014/palestras/5/Eduardo Loosli - Apresentação_Amyris_Frotas Verdes.pdf](http://frotasefretesverdes.com.br/2014/palestras/5/Eduardo%20Loosli%20-%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Amyris_Frotas%20Verdes.pdf)>. Acesso em: 03 maio 2015.

LOPES, M. M. **Estudo comparativo da destilação em batelada operando com refluxo constante e com composição do destilado constante**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LS9 Inc. **Ultra Clean™ Diesel no Brasil será testado pela MAN**. 2010. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/biomass2010/pdfs/biomass2010_track3_s2_delcardayre.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2015.

LS9 Inc. Disponível em: <<http://biofuel.org.uk/ls9-inc.html>> Acesso em: 10 dez. 2014.

MAIA, J.; LEÃO, T. **Crise do Petróleo**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/infograficos/crise-do-petroleo/>> Acesso em : 02 de jan. 2015

MAPA- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia 2014: statistical yearbook of agrienergy 2014**. Brasília: MAPA/ACS, 2015.

MATTEI, L. **Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): Trajetória, Situação Atual e Desafios**. 2010. Documentos Técnico-Científicos. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/projwebren/Exec/artigoRenPDF.aspx?cd_artigo_ren=1218>. Acesso em: 14 jul. 2015.

MILLO, F. *et al.* **Influence on the performance and emissions of an automotive Euro 5 diesel engine fueled with F30 from Farnesane.** Fuel, [s.l.], v. 138, p.134-142, dez. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.07.060. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S001623611400711X>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

MCT - Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **PARECER TÉCNICO 3287:** Solicitação de Parecer para Liberação Comercial de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) geneticamente modificada para produção de farneseno, cepa Y5056. Brasília: D.O.U, 2012. 6 p. Disponível em: < www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1714.doc >. Acesso em: 21 jul. 2015.

MCTI- Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **PARECER TÉCNICO 3775/2013:** Solicitação de parecer para liberação comercial de micro-organismo geneticamente modificado da classe I de risco biológico. Campinas: D.O.U, 2013. 3 p. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1844.doc>. Acesso em: 21 jul. 2015.

MERCEDES-BENZ. **Diesel da Cana.** 2015. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/institucional/sustentabilidade/diesel-da-cana>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

MME- Ministério do Meio Ambiente. **Biomassa.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>> Acesso: 20 de set de 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico da produção do Biodiesel no Brasil.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_4.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2015.

MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários:** 2013. Brasília: MME, 2013. Ano base 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Protocolo de Quioto.** 2015b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

MOURA, B. S. **Transesterificação Alcalina de Óleos Vegetais para Produção de Biodiesel:** Avaliação Técnica e Econômica. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Seropédica, RJ.

ÓLEO DIESEL (Ed.). **Características do Óleo Diesel.** 2015. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraembarcacoes/oleodiesel!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwMLD383A6MgbwNLE0MjAyDQL8h2VAQA9k0JIQ!!/?PC_7_9O1ONKG108HOF02RK094120003000000_WCM_CONTE>

XT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/produtos/automotivos/oleo+diesel/caracteristica+do+oleo>. Acesso em: 11 jul. 2015.

OLIVEIRA, M. D. Diesel de Cana. **PESQUISA FAPESP**, São Paulo, n. 153, 2008. 88-91.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: NUTEC, 2003. 66p.

PISTA, J. **Solazyme: 2014 Guia do Biofuels Digest 5 Minutos**. 2014. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/02/17/solazyme-biofuels-digests-2014-5-minute-guide/>>. Acesso em: 08 maio 2015.

PLANTAS MEDICINALES. **La Herbolaria**, 2014. Disponível em: <<http://herbolaria.altervista.org/plantas/levadura.html>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

PROPEL COMBUSTÍVEIS. **Soladiesel® Algae-Based Fuel Drives Successful Consumer Trial at Propel Fuels Locations**. 2013. Disponível em: <http://propelfuels.com/news_and_media/press_releases/soladiesel_algae_based_fuel_drives_successful_consumer_trial_at_propel_fuel>. Acesso em: 07 mar. 2015.

RAMOS, L. P. *et al.*, **Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil**. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, v. 31, p.28-37, 2003.

RANGEL, S. **Biodiesel: Panorama e perspectivas**. 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/biocom/2014/download.php?tipo=palestras&arquivo=Biocom2014-Palestra-Biodiesel-Panorama-e-perspectivas-Silvio-Rangel.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

REVISTA PESQUISA FAPESP. **Artemísia contra malária**. Ed. 208, 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/06/05/artemisias-contramalaria/>> Acesso em 10 de nov. 2014.

RIBEIRO, D.; CHAVES, R.; DIAS, R. **Sugar cane Diesel: performance and emissions evaluation in medium duty engines**. 2015. Disponível em: <<http://www.aea.org.br/premio/downloads/2015/trabalhos/TB000370.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

RIBEIRO, G. S. R. B. *et al.* **Projeto Diesel de cana – Rumo a 2016**. 2013. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/07/4BBC0678-F2D9-4123-BD3C-05C3F03F764F.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.

RINELLI, M. **Desenvolvimento de Biocombustíveis Avançados para o Brasil e o Papel do PAISS para Fomento de Inovação e Produção Industrial**. 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/s_paiss_ls9.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2015.

ROUSH, W. **Solazyme Bets on Cosmetics Now, But Still Sees Biofuel Future**. 2013. Disponível em: <http://www.xconomy.com/san-francisco/2013/08/15/solazyme-bets-on-cosmetics-now-but-still-sees-biofuel-future/?single_page=true> Acesso em: 14 nov. 2014.
SCHROEDER, J. **LS9 Ultraclean Diesel (Green Diesel) Exceeds Fuel Specs**. 2009. Disponível em: <<http://gas2.org/2009/07/20/ls9-ultraclean-diesel-green-diesel-exceeds-fuel-specs/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

SHINTANI, C. H.; YASUDA, F. **Estudo da utilização do Biodiesel na geração de vapor para a agroindústria**. 2006. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo Escola Politécnica, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.mecanica-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2014/02/TCC_013_2006.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2015.

SILVA, F. H. A. *et al.* Infecção por *Saccharomyces cerevisiae* – uma infecção atípica em UTI. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 01, p. 108-111, 2011. ISSN 0103-507X.

SILVEIRA, D. C. da. **Aspectos da Matriz Energética Brasileira Após a Descoberta do Pré-Sal: MUDANÇAS E LIMITES NA ESTRATÉGIA COMPETITIVA NACIONAL**. 2012. 58 f. Monografia (Especialização) - Curso de Controladoria e Gestão Empresarial, Unijuí - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2012.

SOLAZYME E BUNGE FORMAM JOINT VENTURE PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO RENOVÁVEL EM ESCALA COMERCIAL NO BRASIL. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.bunge.com.br/Imprensa/solazyme-e-bunge-formam-joint-venture-para-producao-de-oleo-renovavel-em-escala-comercial-no-brasil>> Acesso em: 18 de dez. 2014.

SOLAZYME. **Solazyme Receives Fuel Registration From EPA for Soladiesel®RD**. 2012b. Disponível em: <http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-673WYL/0x0x587956/813173EC-CA96-492D-A5B5-FEB8BFB0B088/SZYM_News_2012_8_2_General_Releases.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SOLAZYME. **Solazyme e AkzoNobel ampliam parceria no setor químico**. 2014a. Disponível em: <http://www.ubrabilio.com.br/1891/noticias/solazymeeakzonobelamliamparcerianosetorquimico_234225/> Acesso em: 22 de nov. 2014.

SOLAZYME. **Tecnologia Transformadora**. 2014b. Disponível em:
<<http://solazyme.com/innovation/?lang=pt>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

SOLAZYME. **Proteger o Planeta**. 2014c. Disponível em:
<<http://solazyme.com/sustainability/?lang=pt>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

SOUSA, E. L. L. de.; MACEDO, I. C. (Org.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

TÁVORA, F. L. **Biodiesel e Proposta de um Novo Marco Regulatório: Obstáculos e Desafios**. Brasília: Senado Federal, 2012. Disponível em:
<<http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-116-Biodiesel-e-proposta-de-um-novo-marco-regulatorio-obstaculos-e-desafios>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

TEIXEIRA, C. V.; COLAÇO, M. J.; CALDEIRA, A. B. Viscosidade e Desempenho de Misturas Diesel / Biodiesel em um Motor Monocilíndrico. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT)**, Rio de Janeiro, p.03-12, abr. 2013. Trimestral. ISSN 2316-4522. Disponível em:
<http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_tri_2013/RMCT_007_E4A_11.pdf>. Acesso em: 24 maio 2015.

TODA BIOLOGIA. **Escherichia Coli: O que é, doenças causadas, características principais, resumo, enterobactéria, classificação científica**. Disponível em:
<http://www.todabiologia.com/microbiologia/escherichia_coli.htm>. Acesso em: 05 mar. 2015.

UNIVERSO AMBIENTAL. **BIODIESEL: Conceitos e Características**. 2015. Disponível em:
<http://www.universoambiental.com.br/Biodiesel/Biodiesel_Caract.htm>. Acesso em: 13 ago. 2015.

VIANA, T. M. L. **Caracterização Bioenergética de *Saccharomyces cerevisiae* em Fermentação Vinária**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Alimentar, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

WEISSA, A. **A mágica das Microalgas**. 2014. Disponível em:
<<http://solazyme.com/blog/2014/08/12/the-magic-of-microalgae/?lang=pt>>. Acesso em: 27 jun. 2015.

WILSON, G. *et al.* **BRT mais verde: uso de diesel renovável de cana em sistemas de transporte rápido por ônibus**. 2015. Disponível em:

<http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2015/06/12/86560935-16A2-4809-9B67-84E800A0F31E.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2015.

VW CAMINHÕES E ÔNIBUS. **Ultra Clean™ Diesel no Brasil será testado pela MAN.** 2015. Disponível em: <<http://www.vwcaminhoeseonibusribeirao.com.br/ultra-cleanm-diesel-no-brasil-sera-testado-pela-man/>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

MENEZES, E.W. de. *et al.* Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests. **Fuel**, [s.l.], v. 85, n. 5-6, p.815-822, mar. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.fuel.2005.08.027. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0016236105003121?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

YARRIS, L. **E. Coli Bacteria Engineered to Eat Switchgrass and Make Transportation Fuels.** 2011. Disponível em: <<http://newscenter.lbl.gov/2011/11/29/e-coli-make-three-fuels/>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

ANEXOS

**ANEXO A - Especificação do Biodiesel de uso rodoviário no Brasil (RESOLUÇÃO ANP
Nº 45, DE 25.8.2014 - DOU 26.8.2014)**

Tabela 22 - Especificação do Biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1) (2)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850 a 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (3)	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	15995	-	EN 12662 (5)
Ponto de fulgor, mín. (4)	°C	100	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103 (5)
Cinzas sulfatadas, máx. (6)	% massa	0,02	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 (5) EN 14109 (5) EN 14538 (5)
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538 (5)
Fósforo, máx. (7)	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107 (5) EN 16294 (5)
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx. (6)	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número Cetano (6)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	-9	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5	14448 -	664 -	EN 14104 (5)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15771 15908 (5) -	6584 (5) -	EN 14105 (5) EN 14106 (5)

Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25	15344	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15908 (5)	-	
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7	15342 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15344		
			15908 (5)		
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,2	15342 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15344		
			15908 (5)		
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,2	15342 (5)	6584 (5)	EN 14105 (5)
			15344		
			15908 (5)		
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,2	15343	-	EN 14110 (5)
Índice de Iodo	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (5)
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (11)	h	6 (12)	-	-	EN 14112 (5)
					EN 15751 (5)

Nota:

(1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio. Em caso de disputa, o produto só poderá ser considerado como não especificado no Aspecto, caso os parâmetros teor de água e/ou contaminação total estejam não conformes.

(2) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade no Aspecto, deverão ser realizadas as análises de teor de água e contaminação total. O produto será reprovado caso pelo menos um desses dois últimos parâmetros esteja fora de especificação.

(3) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +50 mg/kg no limite do teor de água no Biodiesel para o produtor e de +150 mg/kg para o distribuidor.

(4) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.

(5) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e rota de produção etílica.

(6) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da Tabela de Especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de Biodiesel, tomando uma amostra do Biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.

(7) Em caso de disputa, deve ser utilizado o método EN 14107 como referência.

(8) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para determinação do número de cetano.

(9) Limites conforme Tabela II. Para os estados não contemplados na tabela o ponto de entupimento a frio permanecerá 19°C.

(10) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EN14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para Biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.

(11) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

(12) A estabilidade à oxidação a 110 °C terá seu limite mínimo de 8 horas, a partir de 1º de novembro de 2014.

Tabela xxxxxxx- Ponto de Entupimento de Filtro a Frio

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LIMITE MÁXIMO, °C											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SP - MG - MS	14	14	14	12	8	8	8	8	8	12	14	14
GO/DF - MT - ES - RJ	14	14	14	14	10	10	10	10	10	14	14	14
PR - SC - RS	14	14	14	10	5	5	5	5	5	10	14	14

ANEXO B - Especificação do Diesel de uso rodoviário no Brasil (RESOLUÇÃO ANP Nº 50, DE 23.12.2013 - DOU 24.12.2013)

Tabela 23 - Especificações do óleo diesel de uso rodoviário

CARACTERÍSTICA (1)	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		TIPO A e B		ABNT NBR	ASTM/EN
		S10	S500		
Aspecto (2) (22) (23)	-	Límpido e isento de impurezas		14954	D4176
Cor	-	-3	Vermelho (4)		
Cor ASTM, máx. (5)	-	3		14483	D1500 D6045
Teor de Biodiesel (6)	% volume	-7		15568	EN 14078
Enxofre total, máx. (21)	mg/kg	10,0 (8)	-	-	D2622
					D5453
					D7039
					D7212 (9)
		-	500	14533 (9)	D7220
					D2622
					D4294 (9)
					D5453
				D7039	
				D7220	
Destilação					
10% vol., recuperados, mín.	°C	180	Anotar	9619	D86
50% vol., recuperados		245,0 a 295,0	245,0 a 310,0		
85% vol., recuperados, máx.		-	360		
90% vol., recuperados		-	Anotar		
95% vol., recuperados, máx		370	-		
Massa específica a 20°C	kg/m³	815,0 a 850,0 (10)	815,0 a 865,0	7148 14065	D1298 D4052
Ponto de fulgor, mín.	°C	38		7974	D56
				14598	D93
					D3828
					D7094
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm²/s	2,0 a 4,5	2,0 a 5,0	10441	D445
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	-11		14747	D6371
Número de cetano, mín. ou Número de cetano derivado (NCD), mín.	-	48	42 (12)	-	D613
					D6890
					D7170
Resíduo de carbono Ramsbottom no resíduo dos 10% finais da destilação, máx.	% massa	0,25		14318	D524
Cinzas, máx.	% massa	0,01		9842	D482
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx	-	1		14359	D130
Teor de Água (13), máx.	mg/kg	200	500	-	D6304
					EN ISO 12937
Contaminação total (14), máx.	mg/kg	24	-	-	EN 12662
Água e sedimentos, máx. (14)	% volume	-	0,05	-	D2709
Hidrocarbonetos policíclicos	% massa	11	-	-	D5186

aromáticos (9) (15), máx.					D6591 EN 12916
Estabilidade à oxidação (15), máx.	mg/100mL	2,5	-	-	D2274 (17) D5304 (17)
Índice de Acidez (24)	mg KOH/g	Anotar	-	14248	D664 D974
Lubricidade, máx.	µm	-18			ISO 12156 D6079
Condutividade elétrica, mín. (19)	pS/m	25	25 (20)	-	D2624 D4308

(1) Poderão ser incluídas nesta especificação outras características, com seus respectivos limites, para óleo diesel obtido de processo diverso de refino e processamento de gás natural ou a partir de matéria prima distinta do petróleo.

(2) Deverá ser aplicado o procedimento 1 para cada método.

(3) Usualmente de incolor a amarelada, podendo apresentar-se ligeiramente alterada para as tonalidades marrom e alaranjada devido à coloração do Biodiesel.

(4) O corante vermelho, especificado conforme a Tabela III, deverá ser adicionado no teor de 20 mg/L de acordo com o artigo 12.

(5) Limite requerido antes da adição do corante.

(6) Aplicável apenas para o óleo diesel B.

(7) No percentual estabelecido pela legislação vigente. Será admitida variação de $\pm 0,5$ % volume. A norma EN 14078 é de referência em caso de disputa para a determinação do teor de Biodiesel no óleo diesel B.

(8) Para efeito de fiscalização nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +5 mg/kg no limite da característica teor de enxofre do óleo diesel B S10, nos segmentos de distribuição e revenda de combustíveis.

(9) Aplicável apenas para óleo diesel A.

(10) Será admitida a faixa de 815 a 853 kg/m³ para o óleo diesel B.

(11) Limites conforme Tabela II.

(12) Para o óleo diesel A, alternativamente, fica permitida a determinação do índice de cetano calculado pelo método ASTM D4737, quando o produto não contiver aditivo melhorador de cetano, com limite mínimo de 45. No caso de o resultado ser inferior a 45, o ensaio de número de cetano deverá ser realizado. Quando for utilizado aditivo melhorador de cetano, esta informação deverá constar no Certificado da Qualidade.

(Nota)

(13) Aplicável na produção e na importação do óleo diesel A S10 e A S500 e a ambos os óleos diesel B na distribuição.

(Nota)

(14) Aplicável na importação, antes da liberação do produto para comercialização.

(15) Os resultados da estabilidade à oxidação e dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos poderão ser encaminhados ao distribuidor até 48 h após a comercialização do produto de modo a garantir o fluxo adequado do abastecimento. A partir de 1º de janeiro de 2015, o resultado do teor hidrocarbonetos policíclicos aromáticos deverá constar no Certificado da Qualidade no ato da comercialização do produto.

(16) Excluída.

(Nota)

(17) Os métodos ASTM D2274 e D5304 aplicam-se apenas ao óleo diesel A.

(18) Poderá ser determinada pelos métodos ISO 12156 ou ASTM D6079, sendo aplicáveis os limites de 460 µm e 520 µm, respectivamente. A medição da lubricidade deverá ser realizada em amostra com Biodiesel, no teor estabelecido pela legislação vigente, em conformidade com o § 9º do Art. 9º.

(19) Limite requerido no momento e na temperatura do carregamento/bombeio do combustível pelo produtor, importador e distribuidor. Para o óleo diesel A S500 deverá ser informado no Certificado da Qualidade a concentração de aditivo antiestático adicionada.

(20) A condutividade elétrica será determinada em amostra composta constituída da mistura de aditivo antiestático mais corante com o produto a ser comercializado. O teor de corante nesta amostra deverá estar conforme o indicado na Tabela III.

(21) Em caso de disputa, a norma ASTM D5453 deverá ser utilizada.

(Nota)

(22) Em caso de disputa, o produto será considerado como não especificado na característica Aspecto, caso ao menos um entre os parâmetros teor de água e água e sedimentos, para o óleo diesel S500, e um entre os parâmetros teor de água e contaminação total, para o óleo diesel S10, esteja não conforme.

(Nota)

(23) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade no Aspecto, deverão ser realizadas as análises de teor de água e água e sedimentos, para o óleo diesel S500, ou teor de água e contaminação total, para o óleo diesel S10. O produto será reprovado caso ao menos um desses parâmetros esteja fora de especificação.

(Nota)

(24) Em caso de disputa, a norma ASTM D974 deverá ser utilizada.

(Nota)

Tabela II - Ponto de Entupimento de Filtro a Frio

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LIMITE MÁXIMO, °C											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DE Z
SP - MG - MS	12	12	12	7	3	3	3	3	7	9	9	12
GO/DF - MT -ES - RJ	12	12	12	10	5	5	5	8	8	10	12	12
PR - SC - RS	10	10	7	7	0	0	0	0	0	7	7	10

Tabela III - Especificação do corante vermelho para o óleo diesel S500 (1)

Característica	Especificação	Método
Aspecto	Líquido	Visual
Color Index	Solvente Red	-
Cor	Vermelho intenso	Visual
Massa Específica a 20°C, kg/m ³	990 a 1020	Picnômetro
Absorvância, 520 a 540 nm	0,600 - 0,650	(*)

(*) A Absorvância deve ser determinada em uma solução volumétrica de 20 mg/l do corante em tolueno P.A., medida em célula de caminho ótico de 1 cm, na faixa especificada para o comprimento de onda.

(1) O aditivo antiestático deverá ser misturado ao corante vermelho em proporção tal que garanta a mínima condutividade elétrica ao óleo diesel exigida pela especificação.

ANEXO C - Limites Máximos de Emissão de Poluentes determinados pelo PROCONVE segundo IBMA (2015).

Tabela 24 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves de Passageiros

POLUENTES	LIMITES	
	Fase L-5	Fase L-6 ⁽¹⁾
	Desde 1º/1/2009	A partir de 1º/1/2014
monóxido de carbono (CO em g/km)	2	1,3
hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,30 ⁽²⁾	0,30 ⁽²⁾
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,05	0,05
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,12 ⁽³⁾ ou 0,25 ⁽⁴⁾	0,08
material particulado ⁽⁴⁾ (MP em g/km)	0,05	0,025
aldeídos ⁽³⁾ (CHO g/km)	0,02	0,02
emissão evaporativa (g/ensaio)	2	1,5 ⁽⁶⁾ ou 2,0 ⁽⁵⁾⁽⁶⁾
emissão de gás no cárter	nula	nula

(1) Em 2014 -> para todos os novos lançamentos

A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados

(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;

(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;

(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

(5) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável

(6) Aplicado a todos os veículos a partir de 1º/1/2012

Tabela 25 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves Comerciais - massa referência para ensaio menor que 1700 kg

POLUENTES	LIMITES		
	Fase L-4 ⁽¹⁾	Fase L-5	Fase L-6 ⁽²⁾
	Desde 1º/1/2005	Desde 1º/1/2009	A partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/km)	2	2	1,3
hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,30 ⁽³⁾	0,30 ⁽³⁾	0,30 ⁽³⁾
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,16	0,05	0,05
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,25 ⁽⁴⁾ ou 0,60 ⁽⁵⁾	0,12 ⁽⁴⁾ ou 0,25 ⁽⁵⁾	0,08
material particulado ⁽⁵⁾ (MP em g/km)	0,08	0,05	0,03
aldeídos ⁽⁴⁾ (CHO g/km)	0,03	0,02	0,02
emissão evaporativa ⁽⁴⁾ (g/ensaio)	2	2	1,5 ⁽⁷⁾ ou 2,0 ⁽⁶⁾⁽⁷⁾
emissão de gás no cárter	nula	nula	nula

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011, somente para os veículos Diesel, por força de Acordo Judicial homologado pelo Juízo federal no estado de São Paulo

(2) Em 2012 -> Inicia para os veículos Diesel dos signatários do Acordo Judicial;

A partir de 2013 -> para todos os veículos Diesel;

A partir de 2014 -> para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto;

A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados.

(3) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;

(4) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;

(5) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

(6) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável

(7) Aplicável a todos os veículos a partir de 1º/1/2012

Tabela 26 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Leves Comerciais - massa referência para ensaio maior que 1700 kg

POLUENTES	LIMITES		
	Fase L-4 ⁽¹⁾	Fase L-5	Fase L-6 ⁽²⁾
	desde 1º/1/2005	a partir de 1º/1/2009	a partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/km)	2,7	2,7	2
hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,50 ⁽³⁾	0,50 ⁽³⁾	0,50 ⁽³⁾
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,2	0,06	0,06
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,43 ⁽⁴⁾ ou 1,00 ⁽⁵⁾	0,25 ⁽⁴⁾ ou 0,43 ⁽⁵⁾	0,25 ⁽⁴⁾ ou 0,35 ⁽⁵⁾
material particulado ⁽⁵⁾ (MP em g/km)	0,1	0,06	0,04
aldeídos ⁽⁴⁾ (CHO g/km)	0,06	0,04	0,03
emissão evaporativa (g/ensaio)	2	2	1,5 ⁽⁴⁾⁽⁷⁾ ou 2,0 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾
emissão de gás no cárter	nula	nula	nula

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011, somente para os veículos Diesel, por força de Acordo Judicial homologado pelo Juízo federal no estado de São Paulo

(2) Em 2012 -> Inicia para os veículos Diesel dos signatários do Acordo Judicial;

A partir de 2013 -> para todos os veículos Diesel;

A partir de 2014-> para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto;

A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados.

(3) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;

(4) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;

(5) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

(6) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável

(7) Aplicável a todos os veículos a partir de 1º/1/2012

Tabela 27 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	desde 1º/1/2004	a partir de 1º/1/2009	a partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,1	1,5	1,5
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	5	3,5	2
material particulado (MP em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,02	0,02
opacidade ELR (m ⁻¹)	0,8	0,5	0,5

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m-1;

Tabela 28 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ETC)

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	desde 1º/1º/2004 ⁽²⁾	a partir de 1º/1º/2009	a partir de 1º/1º/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	5,45	4	4
hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,78	0,55	0,55
metano (CH ₄ em g/kW.h)	NE	NE	NE
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kw.h)	5	3,5	2
material particulado (MP em g/kW.h)	0,16 ou 0,21 ⁽³⁾	0,03	0,03

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente para veículos com pós-tratamento

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m-1;

(NE) não exigível.

Tabela 29 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)

OLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1º/1/2004	Desde 1º/1/2009	A partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,1	1,5	1,5
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kw.h)	5	3,5	2
material particulado (MP em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,02	0,02
opacidade ELR (m ⁻¹)	0,8	0,5	0,5

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m-1;

ANEXO D - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves.

Tabela 30 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases "L")

Fase	Implantação	Característica / Inovação
L1	1988-1991	Caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas. As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de óxidos de nitrogênio (NO _x); injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC); implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e otimização do avanço da ignição
L2	1992-1996	A partir dos limites verificados na Resolução CONAMA nº 18 de 1986, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos
L3	1997-2004	Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA nº 15 de 1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio (denominado "sonda lambda")
L4	2005-2008	Tendo como referência a Resolução CONAMA nº 315 de 2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 é a redução das emissões de HC e NO _x , poluentes precursores da formação de ozônio. Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica
L5	2009-2013	Com os limites de emissão da Resolução CONAMA nº 315 de 2002, da mesma forma que na fase L4, a prioridade na fase L5 é a redução das emissões de HC e NO _x . De maneira análoga à fase L4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica
L6	A partir de 2013	Em 2009, o CONAMA, ao aprovar a Resolução nº 415, introduziu a Fase L6 que entrará em vigor em 2013. L6 estabelece, basicamente, novos limites máximos para a emissão de escapamento de veículos automotores leves novos de passageiros de massa menor ou igual a 1.700 quilogramas e veículos leves comerciais com massa superior a 1.700 quilogramas. Ambas as categorias são para uso rodoviário, e contemplam tanto veículos do ciclo Otto quanto veículos do ciclo Diesel. Para o futuro ainda está prevista a introdução de catalisadores de oxidação, de filtro de particulados e de recirculação de gases

Fonte: (MME, 2013)

ANEXO E - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos pesados.

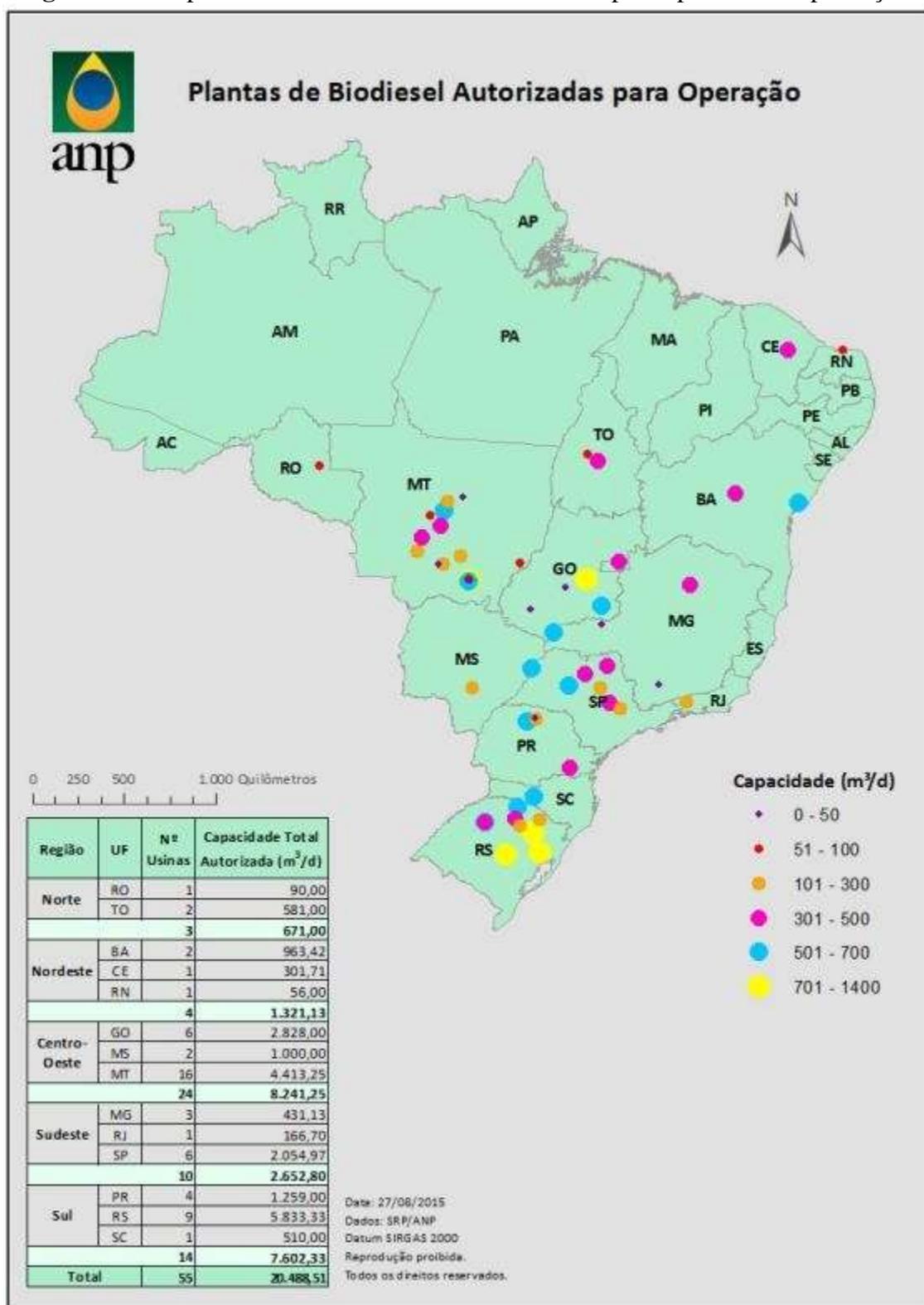
Tabela 31 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos pesados (Fases "P")

Fase	Implantação	Característica / Inovação
P1 e P2	1990-1993	Já em 1990 estavam sendo produzidos motores com níveis de emissão menores que aqueles que seriam requeridos em 1993 (ano em que teve início o controle de emissão para veículos deste tipo com a introdução das fases P1 e P2). Nesse período, os limites para emissão gasosa – fase P1 – e material particulado (MP) – fase P2 – não foram exigidos legalmente
P3	1994-1997	O desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões de NO _x por meio da adoção de intercooler e motores turbo. Nesta fase se deu uma redução drástica das emissões de CO (43%) e HC (50%)
P4	1998-2002	Reduziu ainda mais os limites criados pela fase P3
P5	2003-2008	Teve como objetivo a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P6	2009-2011	Em janeiro de 2009 deveria ter se dado o início à fase P6, conforme Resolução CONAMA nº 315 de 2002, e cujo objetivo principal, assim como na fase P5, era a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P7	A partir de 2012	Resolução CONAMA nº 403 de 2008 introduz uma fase que demanda sistemas de controle de emissão pós-combustão (catalisadores de redução de NO _x e/ou filtros de MP)

Fonte: (MME, 2013)

ANEXO F - Mapa das Plantas de Biodiesel autorizadas por capacidade de produção.

Figura 14 - Mapa das Plantas de Biodiesel autorizadas por capacidade de produção.



Fonte: (ANP, 2015)

Elaborado por Henrique Cardoso Silva (SRP/ANP).

ANEXO G - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente aos veículos leves, médios e pesados – valores percentuais.

Tabela 32 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo leve – valores percentuais.

Itens avaliados	Combustível	Variação em relação ao B5								
		Consumo combustivel	Energia renovável utilizada	Custo de combustível	Custo operacional	CO	Nox	HC	MP	CO ₂
Biodiesel	B20	1,8%	300%	10%	3,00%	-15%	4%	-20%	-15%	-16%
	B50	5,5%	900%	30%	9,20%	-30%	6%	-42%	-30%	-47%
	B80	9,2%	1500%	52%	15,68%	-41%	9%	-57%	-42%	-79%
	B100	12,2%	1900%	72%	21,33%	-48%	10%	-67%	-69%	-100%
Diesel de cana	AMD5	-0,1%	100%	4%	1,05%	-2%	-2%	-7%	-1%	-5%
	AMD20	-0,3%	400%	14%	4,21%	-7%	-5%	-4%	-2%	-21%
	AMD50	-0,8%	1000%	35%	10,48%	-15%	-12%	-12%	-6%	-53%
	AMD80	-1,3%	1600%	55%	16,73%	-21%	-17%	-13%	-8%	-84%
	AMD100	-1,6%	1900%	69%	20,87%	-27%	-22%	-16%	-10%	-100%

Fonte: (CACHIOLO, 2012)

Tabela 33 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo médio – valores percentuais

Itens avaliados	Combustível	Variação em relação ao B5								
		Consumo combustivel	Energia renovável utilizada	Custo de combustível	Custo operacional	CO	Nox	HC	MP	CO ₂
Biodiesel	B20	1,8%	300%	10%	3,48%	-15%	4%	-20%	-15%	-16%
	B50	5,5%	900%	30%	10,67%	-30%	6%	-42%	-30%	-47%
	B80	9,2%	1500%	52%	18,18%	-41%	9%	-57%	-42%	-79%
	B100	12,2%	1900%	72%	24,72%	-48%	10%	-67%	-47%	-100%
Diesel de cana	AMD5	-0,1%	100%	4%	1,22%	-2%	-2%	-7%	-1%	-5%
	AMD20	-0,3%	400%	14%	4,88%	-7%	-5%	-4%	-2%	-21%
	AMD50	-0,8%	1000%	35%	12,16%	-15%	-12%	-12%	-6%	-53%
	AMD80	-1,3%	1600%	55%	19,40%	-21%	-17%	-13%	-8%	-84%
	AMD100	-1,6%	1900%	69%	24,21%	-27%	-22%	-16%	-10%	-100%

Fonte: (CACHIOLO, 2012)

Tabela 34 - Análise da variação do custo operacional, consumo de energia e redução de emissões referente ao veículo pesado – valores percentuais

Itens avaliados	Combustível	Variação em relação ao B5								
		Consumo combustivel	Energia renovável utilizada	Custo de combustível	Custo operacional	CO	Nox	HC	MP	CO ₂
Biodiesel	B20	1,8%	300%	10%	3,03%	-15%	4%	-20%	-15%	-16%
	B50	5,5%	900%	30%	9,32%	-30%	6%	-42%	-30%	-47%
	B80	9,2%	1500%	52%	15,93%	-41%	9%	-57%	-42%	-79%
	B100	12,2%	1900%	72%	21,72%	-48%	10%	-67%	-47%	-100%
Diesel de cana	AMD5	-0,1%	100%	4%	1,07%	-2%	-2%	-7%	-1%	-5%
	AMD20	-0,3%	400%	14%	4,28%	-7%	-5%	-4%	-2%	-21%
	AMD50	-0,8%	1000%	35%	10,66%	-15%	-12%	-12%	-6%	-53%
	AMD80	-1,3%	1600%	55%	17,00%	-21%	-17%	-13%	-8%	-84%
	AMD100	-1,6%	1900%	69%	21,21%	-27%	-22%	-16%	-10%	-100%

Fonte: (CACHIOLO, 2012)

ANEXO H - Comparação das tecnologias consideradas nos estudos de COPPE (2012).

Tabela 35 - Comparação das tecnologias consideradas nos estudos de COPPE (2012).

Tecnologia		Aspectos Financeiros	
Sigla	Descrição	Investimento inicial ¹	Custo operacional ²
		[R\$/unid] [%] 6	[R\$/km] [%] 7
P5D	veículo convencional, motor dianteiro P5	260.500,00	3,95
P7D	veículo convencional, motor dianteiro P7	280.460,00	4,02
P7D_AMD10 ³	veículo convencional, motor dianteiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de diesel de cana)	0,00%	0,41%
P7D_B20 ¹	veículo convencional, motor dianteiro P7 - utilizando B20 (mistura de 80% de diesel de petróleo e 20% de biodiesel)	0,00%	0,28%
P5T	veículo convencional, motor traseiro P5	292.000,00	4,06
P7T	veículo convencional, motor traseiro P7	315.940,00	4,15
P7T_DG ⁴	veículo convencional, motor traseiro P7 - com kit diesel gás	6,63%	-0,87%
P7T_GNVD ⁴	veículo convencional, motor traseiro P7 - dedicado a GNV	9,48%	5,87%
P5P	veículo padron, motor traseiro P5	365.250,00	4,54
P7P	veículo padron, motor traseiro P7	388.650,00	4,62
P7P_AMD10 ⁵	veículo padron, motor traseiro P7 - utilizando AMD10 (mistura de 90% de B5 e 10% de diesel de cana)	0,00%	0,57%
P7P_ED95 ⁵	veículo padron, motor traseiro P7 - utilizando etanol	7,04%	32,02%
P7P_HS ⁵	veículo híbrido em série, diesel-elétrico	67,44%	11,90%
P7P_HP ⁵	veículo híbrido paralelo, diesel-elétrico	62,10%	7,13%
P5A_18m	veículo articulado de 18m, P5	592.500,00	5,45
P7A_18m	veículo articulado de 18m, P7	629.375,00	5,56
P5A_21m	veículo articulado de 21m, P5	704.333,33	5,95
P7A_21m	veículo articulado de 21m, P7	746.250,00	6,07

¹ Considera valor médio de investimento inicial (investimento em chassi e carroceria); ² Considera valor de custo operacional médio; ³ Percentuais calculados em função da alternativa P7D; ⁴ Percentuais calculados em função da alternativa P7T; ⁵ Percentuais calculados em função da alternativa P7P; ⁶ Valores em R\$/unid para as alternativas P5D, P7D, P5T, P7T, P5P, P7P, P5A_18m, P7A_18m, P5A_21m e P7A_21m e em % para as alternativas P7D_AMD10, P7D_B20, P7T_DG, P7T_GNVD, P7P_AMD10, P7P_ED95, P7P_HS e P7P_HP; ⁷ Valores em R\$/km para as alternativas P5D, P7D, P5T, P7T, P5P, P7P, P5A_18m,