



NOTA TÉCNICA

Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel

DPG-SDB N° 01/2020

Rio de Janeiro, Março de 2020

Imagens da Capa:

Desenvolvido por Racool_studio em Freepik.

Divulgação livre. Obtido em Pixabay.

Desenvolvido por master1305 em Freepik.

Divulgação livre. Obtido em Pixabay.

Divulgação livre. Obtido em Pixabay.



GOVERNO FEDERAL
Ministério de Minas e Energia



Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque
Junior

Secretário Executivo

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**

Reive Barros dos Santos



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-
Energéticos e Ambientais**

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e
Biocombustíveis**

José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira
(interino)

NOTA TÉCNICA DPG-SDB Nº 01/2020

Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel

Coordenação Geral

Angela Oliveira da Costa

Coordenação Executiva

Marcelo Castello Branco Cavalcanti

Rafael Barros Araujo

Coordenação Técnica

Patrícia Feitosa Bonfim Stelling

Rachel Martins Henriques

Equipe Técnica

Bruno Rodamilans Lowe Stukart

Euler João Geraldo da Silva

Gabriel da Silva Azevedo Jorge

Juliana Rangel do Nascimento

Marina Damião Besteti Ribeiro

<http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U"
Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º
andar
Brasília – DF – CEP: 70.065-900

Escritório Central

Av. Rio Branco, nº 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Março de 2020

IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES



Área de estudo:

Biocombustíveis

Estudo:

Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel

<i>Revisão</i>	<i>Data de emissão</i>	<i>Descrição</i>
r0	03/03/2020	Publicação original no site da EPE
r1	05/03/2020	Atualização do item 3.1
r2	22/04/2020	Ajuste na nomenclatura e atualização do capítulo 3

SUMÁRIO

Objetivo	1
Contextualização	1
1. Biodiesel.....	4
1.1. <i>Ésteres de Ácidos Graxos</i>	4
1.2. <i>Biodiesel Base Hidrocarbonetos Parafínicos</i>	4
1.2.1. Hidrotratamento de Óleo Vegetal.....	5
1.2.2. Fischer-Tropsch a partir fontes renováveis	5
1.2.3. Processos Fermentativos	6
1.2.4. Oligomerização de álcool etílico ou isobutílico	6
1.3. <i>Experiência Internacional</i>	6
1.3.1. EUA.....	7
1.3.2. União Europeia.....	7
2. Controle da Poluição Veicular e Composição do Diesel.....	8
2.1. <i>Biodiesel e o EURO VI na Europa</i>	8
2.2. <i>Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE)</i>	9
2.2.1. Fases do PROCONVE e o Biodiesel	10
3. Desafios e Oportunidades para o Biodiesel Base Hidrocarbonetos Parafínicos.....	13
3.1. <i>Considerações Acerca de Proposta de Especificação</i>	14
4. Considerações Finais	17
Referências	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do marco legal do biodiesel	2
Figura 2 – Rotas de obtenção de biocombustíveis <i>drop-in</i> utilizando diferentes fontes de biomassa: Processos térmicos, rota bioquímica e processamento catalítico.	5

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Metas de emissões para veículos pesados com motorização ciclo Diesel no Brasil e Europa	9
Tabela 2 - Comparação das especificações para o diesel S10, biodiesel base éster e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos	14
Tabela 3 - Ponto de entupimento de filtro a frio, máx (°C)	16

ÍNDICE DE SIGLAS E SIGLEMAS

ACEA	– Associação Europeia dos Fabricantes de Automóveis
ANP	– Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARLA	– Agente Redutor Líquido de Óxido de Nitrogênio
BBD	– Biomass-based diesel
BTL	– Biomass to Liquid
CEN	– Comitê Europeu para a Padronização
CNPE	– Conselho Nacional de Política Energética
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPF	– Diesel Particulate Filter
DPG	– Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis
EPE	– Empresa de Pesquisa Energética
FAME	– Fatty Acid Methyl Ester
GEE	– Gases de Efeito Estufa
HEFA	- Hydro-processed Esters and Fatty Acids
HVO	– Hydrotreated Vegetable Oil
ICCT	– International Council on Clean Transportation
MME	– Ministério de Minas e Energia
NP	– Numero de Partículas
OBD	– On Board Diagnostics
OGM	– Organismos Geneticamente Modificados
PNPB	– Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PROCONVE	– Programa de Controle de Emissões Veiculares
SCS	– Selo Combustível Social
SDB	– Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Objetivo

A presente Nota Técnica tem por objetivo apresentar considerações sobre o “diesel verde” (renovável) abordando os processos de obtenção, especificações técnicas e desafios para a sua inserção no mercado nacional de abastecimento.

Ciente de sua missão de realizar estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento energético nacional, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através do presente documento, pretende contribuir com as discussões acerca de combustíveis renováveis para motores do ciclo Diesel, de forma que a política energética nacional conjugue a diversificação e o equilíbrio no uso dos recursos (fósseis ou renováveis), garantindo a segurança no abastecimento e o alinhamento às políticas ambientais.

Contextualização

O Brasil é reconhecido por sua ampla disponibilidade de recursos energéticos, devido às condições edafoclimáticas bastante favoráveis e extensa disponibilidade de terra. A matriz energética nacional destaca-se mundialmente pelo elevado grau de renovabilidade, obtido através do aproveitamento de biomassa, recursos hidráulicos e energias eólica e solar.

EPE (2016) evidenciou que esta expressiva participação das renováveis não se deve somente às diversas riquezas naturais, mas também a estímulos governamentais. Dentre as importantes políticas públicas de incentivo aos biocombustíveis que foram desenvolvidas pelo governo brasileiro ao longo dos anos, destaca-se o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Lançado em 2004, o Programa teve como objetivo a implementação de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda. Em sua fase inicial, estabeleceu o marco regulatório que definiu uma base normativa para a produção e comercialização desse biocombustível no Brasil, envolvendo definição do modelo tributário e mecanismos para inclusão da agricultura familiar, consubstanciado no Selo Combustível Social (SCS) (EPE, 2016).

Desde que foi instituído o uso obrigatório do biodiesel na mistura com o diesel fóssil, através da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), observou-se uma rápida evolução para a adição do biocombustível em maiores teores. O valor inicial foi fixado em 2% em volume, em 2008, alcançando 5% já em 2010, quando o previsto ocorreria somente em 2013. Nos anos subsequentes, houve a elevação gradual dos percentuais mínimos obrigatórios no diesel B¹, chegando a 12% em março de 2020².

A Lei nº 13.263/2016 autorizou o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) a elevar o percentual de biodiesel na mistura, até o patamar de 15%, desde que obedecidas as condicionantes de aprovação de testes nos motores para esse teor (BRASIL, 2016). Nesse contexto, a Resolução CNPE nº 16/2018 propôs um cronograma de aumento do percentual de biodiesel na mistura com o diesel de 1% ao ano, atingindo 15%, em 2023 (CNPE, 2018). A evolução dos teores de adição obrigatória de biodiesel ao diesel fóssil está detalhada na Figura 1.

¹ Diesel B: Mistura comercializada em postos, composta por diesel fóssil (mineral) e biodiesel, no percentual volumétrico determinado pela legislação vigente (ANP, 2013b).

² Desde 2014, está autorizado o incremento na mistura, com variações setorizadas, tais como 20% em frotas cativas ou consumidores rodoviários, 30% no uso agrícola e industrial, ademais de 100% em caso de uso experimental (CNPE, 2015).

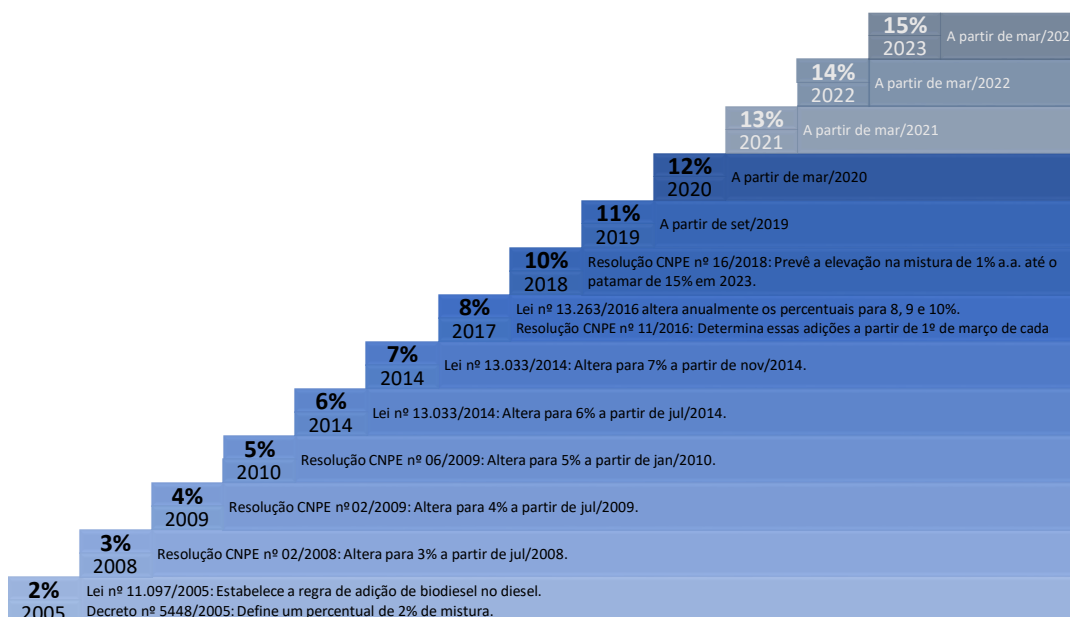


Figura 1 – Evolução do teor percentual obrigatório de biodiesel

Fonte: EPE a partir de BRASIL (2005, 2014, 2016); CNPE (2008, 2009a, 2009b, 2016, 2018, 2019)

A Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005) apresenta uma definição ampla para o biodiesel, como sendo qualquer combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores do ciclo Diesel, conforme será visto adiante. Considerando os condicionantes técnicos e econômicos existentes à época, com vistas a possibilitar a sua introdução na matriz energética nacional, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabeleceu as especificações do biodiesel através de sua Resolução ANP nº 42/2004 (ANP, 2004), definindo o biocombustível como sendo composto por uma mistura de ésteres de ácidos graxos. Atualmente, encontra-se em vigor a Resolução ANP nº 45/ 2014 (ANP, 2014).

Transcorridos mais de quinze anos, mostrou-se necessário que a regulamentação permitisse incorporar os avanços tecnológicos observados, possibilitando o uso de outros combustíveis renováveis oriundos da biomassa, em motores de ciclo Diesel, que também podem ser adicionados ao diesel fóssil para compor a mistura do diesel B. Nesse sentido, em 2019, a ANP iniciou discussões técnicas para validar a utilização de biocombustíveis que podem ser fabricados a partir do hidrotratamento de óleos vegetais, do processo Fischer-Tropsch, de processos fermentativos e da oligomerização de álcoois. Tais processos resultarão em um produto denominado como “diesel verde”, uma mistura de hidrocarbonetos que poderá compor a mistura do diesel B. Nesse contexto, a ANP tem se baseado nas especificações do Comitê Europeu para a Padronização (CEN – *Comité Européen de Normalisation*) para o HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) (CEN, 2012) e nas especificações nacionais para o querosene alternativo de aviação³ (ANP, 2019a).

Destaca-se que a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) já contempla a possibilidade de participação do diesel sintetizado a partir de ácidos graxos e ésteres

³ Os processos comerciais disponíveis no mercado seguem por rotas tecnológicas que produzem, em conjugação com o querosene alternativo de aviação, boa parcela de diesel verde. O percentual de cada um dos produtos pode ser determinado por condições operacionais.

hidroprocessados (HEFA - *Hydro-processed Esters and Fatty Acids*), tendo como combustível fóssil substituto o diesel, através da Resolução ANP nº 758/2018 (ANP, 2018).

Esta Nota Técnica faz uma breve análise das características dos biocombustíveis renováveis para o ciclo Diesel (ésteres e hidrocarbonetos), avaliando possibilidades de diversificação e ampliação da parcela renovável do diesel B. Além disso, perpassa aspectos de emissões veiculares, abordando também as experiências internacionais, e aponta os desafios e oportunidades da sua utilização para o abastecimento nacional.

1. Biodiesel

O biodiesel foi inserido na matriz energética nacional por intermédio da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), que alterou o art. 6º da Lei nº 9.478/1997 (BRASIL, 1997) e, em seu artigo 4º, o definiu como: *“(...) 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.”*

Sendo assim, o biodiesel pode ser reconhecido por suas propriedades, independentemente de processo produtivo, podendo ser tanto o éster originado após o processo de transesterificação dos óleos vegetais e outros materiais graxos, bem como o hidrocarboneto renovável oriundo de processos produtivos distintos, que serão abordados a seguir.

1.1. Ésteres de Ácidos Graxos

Os ésteres de ácidos graxos são obtidos a partir da reação entre triglicerídeos ou ácidos graxos com álcool, na presença de um catalisador. Apesar do grupamento funcional do tipo éster, o tamanho das cadeias de carbono do produto é similar ao dos hidrocarbonetos que compõem o diesel de origem fóssil. O termo biodiesel se refere usualmente aos ésteres metílicos de ácidos graxos, denominados FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*).

Em 2004, para efeitos da Resolução ANP nº 42/2004, que especificou suas propriedades, o biodiesel foi definido em seu art. 2 como um combustível: *“composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais conforme a especificação (...), parte integrante desta Resolução”* (ANP, 2004).

Posteriormente, o art. 2º da Resolução ANP nº 14/2012 (ANP, 2012) detalhou o biodiesel como: *“(...) combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e ou/esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal”*.

Apesar da regulamentação da ANP restringir a denominação biodiesel aos ésteres de ácidos graxos, existem outros combustíveis de origem renovável disponíveis no mercado mundial que podem ser utilizados no ciclo Diesel, em consonância com a Lei nº 11.097/2005. Nesse contexto, avalia-se o uso do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde), uma mistura de hidrocarbonetos que pode ser adicionada ao diesel B, necessitando, no entanto, que seja regulamentada a especificação das características do combustível pela ANP.

1.2. Biodiesel Base Hidrocarbonetos Parafínicos

O biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde) é um combustível renovável, formado por uma mistura de hidrocarbonetos com composição química semelhante à do combustível fóssil (*drop in*⁴), podendo ser produzido a partir dos seguintes processos:

- Hidrotratamento de óleo vegetal e animal;
- Fischer-Tropsch a partir de fontes renováveis;

⁴ *Drop in*: Os biocombustíveis *drop-in* são hidrocarbonetos, funcionalmente equivalentes aos de origem petroquímica e totalmente compatíveis com a infraestrutura de petróleo existente (DOE, 2019; IEA, 2019; KARATZOS *et al.*, 2017; OH *et al.*, 2018; ZHANG; ZHAO, 2015 *apud* SCALDAFERRI, 2019; NREL, 2013).

- Processos Fermentativos; e
- Oligomerização de álcoois.

A Figura 2 ilustra as formas de processamento da biomassa para conversão em biocombustível.

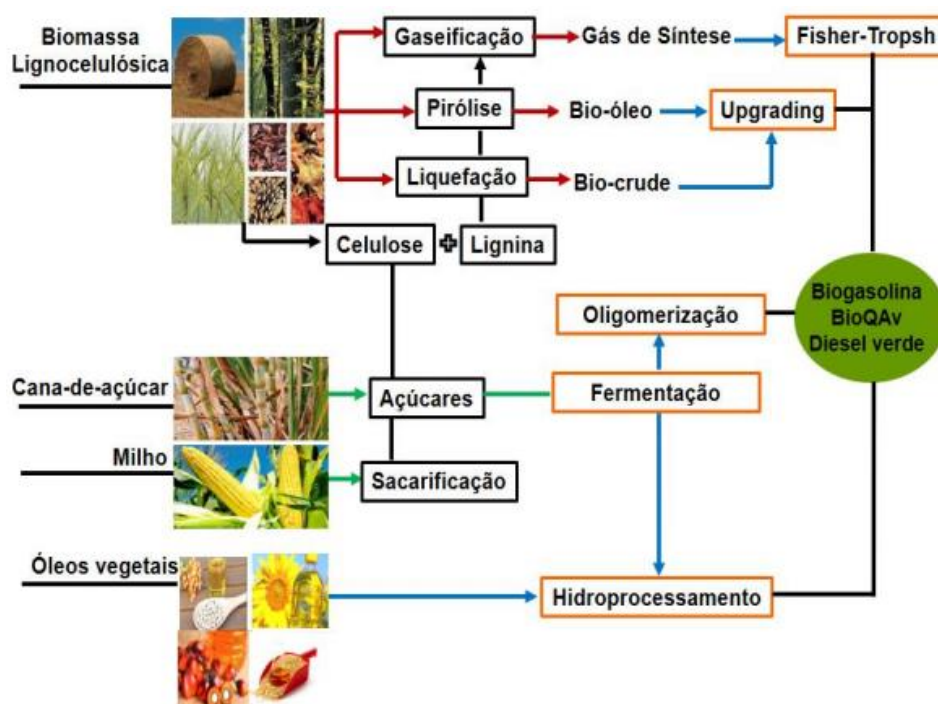


Figura 2 – Rotas de obtenção de biocombustíveis *drop-in* utilizando diferentes fontes de biomassa: Processos térmicos, rota bioquímica e processamento catalítico.

Fonte: Adaptado de SCALDAFERRI (2019).

1.2.1. Hidrotratamento de Óleo Vegetal

O HVO é o combustível originado a partir da hidrogenação de óleos (ex.: residual, de soja, de palma e gordura animal), que resulta em uma mistura de hidrocarbonetos com base parafínica, livre de enxofre e de compostos aromáticos, e com um número de cetano⁵ elevado. Este combustível apresenta maior estabilidade de armazenamento, melhores propriedades de fluxo a frio e pode ser usado em motores ciclo diesel sem os limites ou modificações de mistura exigidos pelo éster de ácidos graxos. Além do diesel renovável (diesel verde ou hidrobiodiesel), a partir do HVO podem também ser produzidos: combustível para aviação, bionafta e biopropano (EC, 2019).

1.2.2. Fischer-Tropsch a partir fontes renováveis

Fischer-Tropsch é uma tecnologia para a produção de combustíveis sintéticos que foi amplamente utilizada na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial, sendo posteriormente aprimorada. Esse processo envolve a síntese química a partir de matérias-primas renováveis e não renováveis, tais como biomassa (BTL - *biomass-to-liquid*), carvão (CTL - *coal-to-liquid*) e gás natural (GTL - *gas-to-liquid*). Atualmente, vislumbra-se um maior potencial de uso dessa tecnologia por BTL.

⁵ Número de cetano: É uma medida indireta do tempo decorrido entre a injeção do óleo diesel no cilindro e o início da sua combustão. Quanto menor for o retardo da ignição, melhor será a qualidade de ignição do combustível e, assim, maior o número de cetano (FARAH, 2012).

Através desta rota, são produzidos hidrocarbonetos de diferentes tamanhos, com características similares ou superiores aos derivados fósseis presentes no mercado, como gasolina e óleo diesel (DUARTE, 2009).

Ressalta-se que nas discussões atualmente conduzidas pela ANP para a regulamentação do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde), a matéria-prima considerada para o processo Fischer-Tropsch está restrita à biomassa.

1.2.3. Processos Fermentativos

Os processos fermentativos, a partir da utilização de organismos geneticamente modificados (OGM), convertem material orgânico proveniente da agroindústria em diversos produtos, dentre eles, alguns similares aos derivados de petróleo. Entre seus desafios estão a redução de custo do processo, o aumento das taxas de conversão, o uso de resíduos agroindustriais, dentre outros.

Dentre as iniciativas neste sentido, destacam-se as modificações genéticas na levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual é responsável por transformar o caldo de cana em etanol durante o processo de fermentação nas usinas. Esta modificação possibilita que este microorganismo produza uma substância chamada farneseno, hidrocarboneto similar ao diesel (AMIRYS, 2019).

Nas discussões atualmente conduzidas pela ANP para a regulamentação do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde), a matéria-prima considerada para os processos fermentativos contempla apenas o caldo de cana.

1.2.4. Oligomerização de álcool etílico ou isobutílico

As reações de oligomerização consistem na formação de dímeros, trímeros ou tetrâmeros, a partir de unidades monoméricas. Ao contrário da polimerização, este tipo de reação tem um limite máximo de monômeros adicionados. Para o caso dos biocombustíveis, o exemplo clássico de oligomerização é a formação de combustíveis renováveis, de estrutura similar aos seus análogos fósseis, a partir de álcool de cadeia curta. Esta rota é conhecida comercialmente como ATJ - *Alcohol to jet* - onde ocorre a conversão de álcoois em diesel e querosene de aviação renováveis.

Segundo a especificação ASTM D7566-4, apenas dois álcoois estão aprovados para uso nesta rota química: o etanol e o isobutanol. A primeira etapa do processo consiste na desidratação intramolecular do álcool - álcool saturado passando a alceno. A segunda é o processo de oligomerização propriamente dita, onde as moléculas de alceno são combinadas para formar os hidrocarbonetos que darão origem aos biocombustíveis renováveis. Após sua separação por destilação, os hidrocarbonetos formados são então hidrogenados, seguidos de fracionamento para produzir os biocombustíveis parafínicos sintéticos de álcool (ALBUQUERQUE, *et al.* 2019; VINHADO *et al.*, 2019).

1.3. Experiência Internacional

Atualmente, os HVOs representam o terceiro maior biocombustível em volume produzido no mundo e sua produção está crescendo a uma taxa mais rápida do que as observadas nas indústrias de etanol e éster. No período entre 2011 e 2018, a produção de éster apresentou uma taxa de crescimento de apenas 1,7% a.a. no mercado europeu, enquanto que o HVO avançou a um ritmo de 37,1% a.a.. A produção total de combustíveis para motores ciclo Diesel nos 28 países-membros do

bloco europeu somou 16,1 bilhões de litros em 2018 – 12,6 bilhões de litros de éster e 3,5 bilhões de litros de HVO (USDA, 2018).

Apresenta-se a seguir as experiências dos EUA e da União Europeia, com suas abordagens distintas.

1.3.1. EUA

A lei *Energy Independence and Security Act* (EISA) de 2007 dita a política energética dos Estados Unidos e, através do Padrão de Combustíveis Renováveis (*Renewable Fuel Standard – RFS*), estabeleceu a adição de biocombustíveis ao combustível automotivo em percentuais crescentes até 2022 (EUA, 2007).

Esse programa instituiu a seguinte classificação: renováveis (incluem o etanol e biobutanol de milho), avançado (inclui o etanol de cana-de-açúcar), diesel de biomassa⁶ e celulósico (etanol e biodiesel celulósico), considerando a sustentabilidade atribuída a cada biocombustível, de acordo com sua intensidade de carbono.

Em alguns estados, principalmente os produtores de soja, é possível a utilização de misturas variadas de diesel de biomassa e, em princípio, as principais montadoras Ford, General Motors e Fiat Chrysler apoiam o uso de biodiesel em proporção de até 20% (BIODIESEL MAGAZINE, 2016).

1.3.2. União Europeia

Na União Europeia, o termo biodiesel engloba tanto o FAME quanto o HVO (UE, 2009). O Bloco tem a Diretiva 2009/28/CE (UE, 2009a) como o principal instrumento de promoção à utilização de fontes renováveis. Ressalta-se que tal Diretiva limita o percentual dos biocombustíveis tradicionais (etanol de cana e milho, e biodiesel de oleaginosas) a um máximo de 7% de participação na demanda energética para combustíveis líquidos. Observe-se que, uma vez que a diretiva não tem força de lei, cada país-membro está livre para adotar a sua política, de acordo com seus interesses.

Note-se que o crescimento expressivo do uso do HVO, combustível *drop in*, sem qualquer restrição ao uso em motores do ciclo Diesel, foi motivado pela introdução dos motores padrão Euro VI, a maioria dos quais estão certificados para a mistura máxima de 7% de FAME (UE, 2009a), como será visto a seguir.

⁶ *Biomass-based diesel* (BBD): diesel oriundo de biomassa definido como um combustível renovável, aditivo a combustíveis de transporte, óleo de aquecimento ou combustível de aviação que atenda à definição de biodiesel ou de diesel renovável não éster que reduz as emissões de GEE em 50% ou mais.

2. Controle da Poluição Veicular e Composição do Diesel

O setor de transportes é responsável por grande parte das emissões globais de GEE e de poluentes locais, que impactam diretamente a saúde humana. Segundo IPCC (2014), sua parcela corresponde a cerca de 14% das emissões globais de CO₂eq em 2016 (IPCC, 2014). O modo rodoviário contribui com grande parte destas emissões, pois a maioria dos combustíveis utilizados é de origem fóssil. Ressalte-se que o uso de biocombustíveis no setor de transportes mundial alcançou 3% em 2017, enquanto que no Brasil, esta participação foi de 23% em 2018 (esse valor era de 18% em 2008) (EPE, 2019).

Governos de vários países, tais como Estados Unidos, Alemanha e França, têm adotado políticas específicas para o setor de transporte, de forma a contribuir para mitigação dos impactos na mudança do clima e para a melhoria da qualidade de vida da população (EIA, 2019). No Brasil, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que tem suas normas reguladas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece as metas de redução das emissões para veículos leves e pesados, baseado em experiências internacionais.

Durante a implementação do PROCONVE, o Brasil usou como referência a Diretiva nº 97/24/EC de 1997 da Comunidade Europeia (CEN, 1997), para atender os parâmetros de emissão dos motores do ciclo Diesel. A seguir, são detalhados os aspectos relacionados ao uso do biodiesel (ésteres e/ou HVO) em motores do ciclo Diesel, considerando os programas de controle da poluição veicular da Europa e do Brasil.

2.1. Biodiesel e o EURO VI na Europa

O Parlamento Europeu introduziu em 2009 o limite máximo de 7% de FAME em volume no diesel. De acordo com os fabricantes, o uso do FAME acima deste teor causa preocupações devido à sua estabilidade, impureza, incompatibilidade com filtros, mangueiras e selos (DENSO, 2009). Em 2014, a Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA - *Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*) garantiu que todos os veículos novos produzidos a partir de 2010 são compatíveis com o uso de diesel B7, e informou que um modo aceitável de aumentar o uso de combustíveis renováveis seria através do uso do óleo vegetal hidrotratado (HVO) ou da síntese Fischer-Tropsch (BTL). Segundo essa associação, se um Estado-Membro autorizar a venda de diesel com percentual de éster superior ao B7, teria que exigir também a disponibilização de diesel limitado a 7% de FAME na mistura, acarretando aumento de custos operacionais para o abastecimento (ACEA, 2014).

Os Estados-Membros da UE podem ter diesel com adição superior de FAME no mercado, contanto que usuários sejam alertados previamente, alegando justificativas técnicas (UE, 2009a). A Comissão divulgou um estudo de impacto dessa nova diretiva, em resposta a questionamentos sobre o limite sobre o FAME (UE, 2010), indicando as reiteradas considerações externadas pelos fabricantes de equipamento de injeção de combustível com proporções de FAME superiores aos permitidos pela norma europeia EN 590 (UE, 2009b).

A limitação é justificada pelas propriedades técnicas do FAME e da operabilidade e durabilidade de motores e veículos, segundo NESTE (2016). O Comitê Europeu de Normas (CEN - *Comité Européen de Normalisation*) estudou a possibilidade de aumentar o limite de adição de FAME para 10%. No entanto, em sua norma EN 590, manteve a orientação de que o percentual de 7% de biodiesel FAME não poderia ser ultrapassado, para que as especificações EN 14214 sejam atendidas (CEN, 2009).

A França procedeu com a elevação do limite de FAME para 8% e, posteriormente, 10%. A ACEA informou que o B10⁷ (padrão EN 16734) apresenta preocupações operacionais, principalmente em épocas mais frias (CEN, 2016). Além disso, foram identificados problemas de compatibilidade, em especial com veículos mais modernos (EURO VI), devido à presença de equipamentos de controle de emissões mais sofisticados. A ACEA reconhece o fato de a França ter introduzido especificações mais rigorosas do FAME, no mesmo decreto que autorizou a comercialização de B10, em relação às propriedades a frio do biodiesel, o ponto de nuvem, nível de monoglicerídeos e ésteres saturados. No entanto, ressalta que o B10, mesmo com o FAME com especificações mais restritivas, causa problemas no óleo lubrificante⁸ (ACEA, 2018).

Neste sentido, a ACEA divulgou uma lista de veículos e motores que seus fabricantes declararam compatíveis ou não com o uso do B10, e sugere que o diesel com maior conteúdo de FAME esteja claramente identificado. A maior parte dos automóveis leves e pesados são compatíveis com B7, especialmente os veículos novos com motores que atendam às especificações EURO VI. No entanto, algumas grandes montadoras europeias fornecem modelos compatíveis com o B10 (ACEA, 2018).

2.2. Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE)

O PROCONVE foi criado em 1986 pelo CONAMA, com o objetivo de reduzir e controlar a contaminação atmosférica e a emissão de ruído por fontes móveis (veículos automotores). Em 1996, o programa começou a exigir restrições sobre emissões específicas e material particulado. Desde então, o Brasil tem exigido padrões crescentemente restritivos, consistentes com os europeus, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Metas de emissões para veículos pesados com motorização ciclo Diesel no Brasil e Europa

Padrão PROCONVE	Equivalente Europeu	Ciclo de Teste	Europa						
			CO	HC	NO _x	MP	NMHC	CH ₄	NP (nº/kWh)
P-1 (1989)	-	NBR 7026/7027	Only smoke index						
P-2 (1996)	-	R-49	11.2	2.45	14.40	0.60	-	-	-
P-3 (2000)	Euro I (1991)	R-49	4.9	1.23	9.0	0.40	-	-	-
			4.5*	1.1*	8.0*	0.36*			
P-4 (2002)	Euro II (1996)	R-49	4.0	1.1	7.0	0.15	-	-	-
P-5 (2006)	Euro III (2000)	ESC/ELR	2.1	0.66	5.0	0.10	-	-	-
					0.13**				
		ETC	5.45	-	5.0	0.16	0.78	1.6	-
			0.21**						
P-6 (suspensão)	Euro IV (2005)	ESC/ELR	1.5	0.46	3.5	0.02	-	-	-
		ETC	4.0	-	3.5	0.03	0.55	1.1	-
P-7 (2012)	Euro V (2008)	ESC/ELR	1.5	0.46	2.0	0.02	-	-	-
		ETC	4.0	-	2.0	0.03	0.55	1.1	-
P-8 (2023)	Euro VI (2014)	WHSC	1.5	0.13	0.4	0.01	-	-	8.0 x 10 ¹¹
		WHSC	4.0	-	0.46	0.01	0.16	0.5	6.0 x 10 ¹¹

Nota: NP – Número de particulados. * Indica valores para o padrão Euro correspondente. ** Para motores com menos de 750 cm³ (cilindradas) e uma velocidade nominal de potência superior a 3000 min⁻¹.

Fonte: ICCT (2016).

⁷ BX: Os termos BX são adotados para denominar as misturas de diesel mineral e biodiesel (FAME), em que o X corresponde ao percentual volumétrico de biodiesel adotado na mistura.

⁸ É comum que uma parte do combustível passe pelos pistões em máquinas a ciclo Diesel e entre no cárter, especialmente quando a pós-injeção é utilizada para auxiliar os filtros de partículas, como ocorre com os novos motores EURO VI. Normalmente o diesel evaporaria, mas a presença de material orgânico reduz o efeito lubrificante do óleo do cárter, havendo necessidade de paradas de manutenção mais frequentes (ACEA, 2018).

Apesar das exigências cada vez mais restritivas, as emissões em condições reais não foram condizentes com os limites estabelecidos em laboratórios. O padrão atual (PROCONVE P7, equivalente ao EURO V) não exige monitoramento do desempenho de filtros de particulados (DPF – *Diesel Particulate Filter*), e carece de requisitos de monitoramento do ARLA 32⁹. Segundo o *International Council on Clean Transportation* (ICCT, 2016), essas lacunas no programa brasileiro, quando comparado com o equivalente europeu, associadas à fiscalização deficiente propiciaram um ambiente onde motoristas de caminhões P7 não utilizam o agente redutor e, conseqüentemente, não sofrem as penalidades devidas.

A motorização padrão EURO VI foi desenvolvida para reduzir as emissões de poluentes sob circunstâncias reais. Buscando solucionar esta questão, o P8 (equivalente ao EURO VI) introduz um conjunto mais amplo de requisitos de sistemas de diagnóstico de bordo (OBD – *On Board Diagnostics*) e, além de restringir os limites de emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), apresenta, também, maior controle do material particulado (MP) e estabelece um limite de número de partículas (NP). Esses limites de particulados foram definidos para incentivar o maior uso de filtros. Adicionalmente, o P8 cria um padrão de leitura para os dados de OBD entre os fabricantes de veículos, reduzindo os custos para a fiscalização, já que um único leitor poderá ser utilizado (ICCT, 2019). Tais ações devem minimizar os problemas de não-uso de ARLA 32¹⁰ e de desligamento dos sensores que limitam o torque do motor quando o agente redutor não é utilizado (ICCT, 2016).

2.2.1. Fases do PROCONVE e o Biodiesel

A implementação da motorização padrão EURO VI na Europa em 2014, e o comprometimento do Brasil com o Acordo de Paris em 2015, fizeram com que o mercado brasileiro criasse a expectativa de que a entrada das novas exigências ocorresse ainda em 2016 (ICCT, 2016). No entanto, a decisão de implementação da nova fase levou quase cinco anos para ser anunciada. Somente em 2018, a Resolução CONAMA nº 490/2018 (CONAMA, 2018) instituiu a fase P8 do PROCONVE no Brasil para novos veículos pesados, a partir de 2023 e, para fins de homologação, estabeleceu que deverá ser utilizado o combustível de referência com adição de biodiesel. Este combustível deverá ser definido com antecedência mínima de 36 meses, a partir da publicação da especificação da ANP, conforme art. 7º da Lei nº 8.723/1993 (BRASIL, 1993). Segundo a resolução, “Na hipótese de não atendimento ao disposto no caput, será adotado o mesmo óleo diesel de referência, conforme a Fase PROCONVE P7” (CONAMA, 2018).

A Resolução ANP nº 50/2013 (ANP, 2013b) regulamenta as especificações dos óleos diesel de uso rodoviário, considerando a necessidade de atendimento da fase PROCONVE P7. O Art. 7º estabelece que o “óleo diesel B de uso rodoviário comercializado no país deverá conter biodiesel em percentual determinado pela legislação vigente”. A adição obrigatória de biodiesel atualmente está em 12%, e com previsão legal de aumento para 15% em 2023 (CNPE, 2018).

⁹ O ARLA-32 é um agente líquido redutor de emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) à base de ureia. Atua nos catalisadores do sistema de escapamento dos motores, permitindo uma redução na emissão de material particulado.

¹⁰ AFEEVAS (2019) comparou o consumo de ARLA 32 frente às vendas de diesel S-10 e verificou que a demanda do agente redutor estava 35% abaixo do necessário para a frota de pesados. Entre as ilegalidades referentes ao ARLA 32 estão: a diluição com água, fabricação caseira, baixa qualidade dos componentes, fraude fiscal, emuladores eletrônicos, etc.

De acordo com ICCT (2018):

(...) as tecnologias de pós-tratamento de controle necessárias para atender aos limites de emissão do Euro VI, tais como os sistemas de redução catalítica seletiva e filtros de partículas, reduzem muito as emissões dos motores a diesel e quase eliminam qualquer efeito do combustível nas emissões.

(...) quaisquer mudanças nas especificações de combustível incluídas no regulamento da Euro VI poderiam ser utilizadas como argumento para os fabricantes de veículos e motores para o enfraquecimento dos requisitos que tornam a norma efetiva. (...)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2018), os testes realizados com diferentes amostras de B10 foram aprovados, embora muitas empresas tenham realizado somente testes com B15 e B20. O CONAMA (2018) prevê que procedimentos de durabilidade e emissão sejam conduzidos entre 160 mil e 700 mil km, dependendo do tamanho do veículo de carga. Note-se que os testes descritos foram efetuados em quilometragem inferior ao definido, entre 30 e 37 mil km e 1.000 horas (MME, 2018).

Após a realização de testes, MME (2019a) concluiu, em seu relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de biodiesel B15 em motores e veículos, que *“o parecer em geral é favorável ao aumento do uso do biodiesel até 15%”*. Tal relatório registra que houve manifestações contra o aumento da adição obrigatória, dentre as quais a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - Anfavea (*apud* MME 2019a):

(...) o aumento do teor de biodiesel no óleo diesel para 15% deve ser precedido de alterações na especificação do combustível, que garantam o aumento da estabilidade do mesmo, pois, ao que tudo indica, esta foi a principal causa para a formação dos depósitos em filtros e injetores, com consequências no desempenho do veículo e aumento na periodicidade da troca de óleo e filtros. (...)

MME (2019a) afirmou que *“sem embargo as diferentes posições ou distintos resultados encontrados, a tônica da maioria dos relatórios individuais foi a necessidade de aprimoramento da especificação do combustível”*. Ainda sobre o desempenho, a montadora Ford registrou que *“o tempo de teste e a quilometragem acumulada não representam a vida útil do veículo, tampouco a durabilidade exigida para emissões”* (MME, 2019a). Alguns agentes encontraram problemas com contaminação de óleo lubrificante e entupimentos dos filtros e a necessidade de trocas acima do normal. Após novas discussões sobre o assunto, o Grupo de Trabalho para Testes com Biodiesel, instituído pela Portaria MME nº 262/2016, autorizou a ANP a fixar a evolução da adição obrigatória do percentual de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, com o aumento das restrições relacionadas ao parâmetro estabilidade oxidativa, na especificação do biocombustível (MME, 2019b).

A instabilidade da mistura biodiesel/diesel vem sendo amplamente discutida e estudada, desde que teores de até 15% de biodiesel puderam ser adicionados ao óleo diesel vendido ao consumidor final (CNPE, 2018). Tal fator vem sendo a principal causa para a formação de depósitos em filtros e injetores de veículos pesados, conforme apresentado. Observe-se que o decaimento natural da estabilidade do éster pode ser afetado pelo tipo de matéria-prima (diversidade de oleaginosa e de gorduras animais), modos de transporte (rodoviário e navegação interior) e condições climáticas, principalmente quando submetido por longos períodos de armazenamento.

Há a necessidade do uso de aditivos antioxidantes, sejam eles naturais ou sintéticos, sendo estes produtos de fundamental importância para garantir a estabilidade do éster e sua especificação dentro dos parâmetros exigidos nas atuais normas brasileiras (MITTELBACH e GANGL 2001 *apud* MACHADO, 2014). Neste sentido, o produtor deve atender o limite mínimo de estabilidade oxidativa

no éster, independentemente da adição ou não de antioxidante, do tipo de processo e da cesta de matérias-primas usadas para sua produção.

Recentemente, foram identificadas inobservâncias ao limite mínimo de estabilidade oxidativa de volumes de éster recepcionados nas distribuidoras, ainda que o mesmo tenha saído do produtor dentro da especificação (ANP, 2019b). Desta forma, a Portaria ANP nº 798/2019 definiu a revisão na sua especificação, em especial em relação ao limite mínimo para a característica "estabilidade à oxidação", visando futuros incrementos na adição do biocombustível ao diesel fóssil. A partir de agosto de 2019, os produtores de éster ficaram obrigados a adicionar sistematicamente aditivos antioxidantes. Esta Portaria aprimora a estabilidade à oxidação a 110°C, que passa de 8 para 12 horas, visando atingir, no mínimo, 20 horas de estabilidade na mistura final com o óleo diesel (ANP, 2019c). Um de seus objetivos é aumentar a vida útil do diesel B em todas as suas etapas de comercialização, e tornar mais segura a implantação da mistura BX no país.

O termo biodiesel pode ter significado mais amplo, conforme indicado no capítulo 1, incorporando tanto o éster como o hidrocarboneto. Neste sentido, o uso do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde) poderia contribuir para a melhoria da estabilidade da mistura que compõe o diesel B, entre outros benefícios, como será visto a seguir.

3. Desafios e Oportunidades para o Biodiesel Base Hidrocarbonetos Parafínicos

A introdução do PNPB criou uma nova cadeia produtiva que se encontra plenamente desenvolvida e disseminada em todas as regiões do Brasil, incluindo a indústria de equipamentos para transformação e armazenamento, a logística de transporte e as atividades de pesquisa. Além disso, o estabelecimento do SCS fortaleceu a atividade cooperativa, incorporando a agricultura familiar à produção do biodiesel. Analogamente, essa mesma cadeia poderá ser supridora da matéria-prima para o diesel verde, desde que devidamente regulamentada.

O biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde) é um combustível *drop-in*, sem qualquer restrição ao uso em motores do ciclo Diesel e, consequentemente, pode tanto ser adicionado ao diesel fóssil como também fazer parte da mistura com diesel B. Este biocombustível pode ser utilizado em motores Diesel da frota atual sem quaisquer modificações, assim como em motores a serem comercializados a partir de 2023 (PROCONVE P8). Além disso, apresenta um elevado número de cetano, melhorando o desempenho do motor.

Sob o aspecto ambiental, este biocombustível apresenta menores emissões de GEE e de outros poluentes, como enxofre e NO_x (em comparação ao diesel fóssil e biodiesel base éster) (REG, 2019). Como exemplo, o HVO contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa em cerca de 50%, em relação ao diesel fóssil, podendo atingir até 90%, segundo os fabricantes (SCANIA, 2019).

Em relação à logística, apresenta vantagem competitiva quando comparado ao biodiesel base éster (FAME), podendo ser distribuído através de dutos existentes. Além disso, trata-se de um produto quimicamente estável que não sofre alterações ao longo de sua cadeia logística, não havendo incompatibilidade com o combustível fóssil.

Destaca-se que o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde), a depender da rota tecnológica, utiliza processos energo-intensivos, que podem impactar nos custos de produção e, consequentemente, no preço final. O Brasil não possui plantas para a produção de biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos¹¹. O produto desenvolvido pela Amirys (farneseno), descrito anteriormente, está sendo direcionado para o mercado de cosméticos, que possui maior valor agregado. A ausência de regulamentação, com definições das especificações, limita as oportunidades de uso do diesel verde.

Pondera-se que o processo de produção do bioquerosene de aviação (BioQAv) através da hidrogenação de óleos vegetais produz, simultaneamente, quantidades significativas de biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos. Desta forma, se por um lado a produção de BioQAv pode ser estimulada pela do diesel renovável, por outro lado, pode aumentar a competitividade de ambos os produtos.

¹¹ “O H-Bio é um processo de refino que utiliza óleo vegetal como insumo para a obtenção de óleo diesel, elaborado por meio da hidrogenação de uma mistura de óleo vegetal e corrente de petróleo” (PETROBRAS, 2006). Sua operação foi descontinuada (BIODIESELBR, 2007).

3.1. Considerações Acerca de Proposta de Especificação

Pondera-se a pertinência de que uma proposta de especificação do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos deva comparar suas características com as do diesel B, conforme Resolução ANP nº 50/2013 (ANP, 2013b), e as do biodiesel base éster, conforme Resolução ANP nº 45/2014 (ANP, 2014). A Tabela 2 apresenta uma tabela comparativa das especificações do diesel S10, biodiesel base éster e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos apresentadas na minuta de resolução posta em consulta pública (ANP, 2020), com as resoluções anteriormente citadas.

Tabela 2 - Comparação das especificações para o diesel S10, biodiesel base éster e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos

Parâmetro	Unidade	Diesel S10	Biodiesel base éster	Biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos
Número de cetano (mín)	-	48	anotar	51
Massa específica a 20°C	kg/m ³	815 – 850	850 – 900	761,2 – 806,5
Ponto de fulgor (mín)	°C	38	100	55
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0 a 4,5	3,0 a 6,0	2,00 – 4,50
Destilação (95% v/v) máx	°C	370	Não exigido	360
Índice de Acidez (máx)	mgKOH/g	anotar	0,50	0,3
Lubricidade a 60°C (máx)	µm	460 (ISO 12156)	Não exigido	460 (ISO 12156)
Total de aromáticos (máx)	% (m/m)	11	Não exigido	1,0
Teor de enxofre (máx)	mg/kg	10,0	10,0	10,0
Resíduo de carbono (10% do resíduo de destilação) máx	% (m/m)	0,25	Não exigido	0,30
Teor de cinzas (máx)	% (m/m)	0,010	0,020	0,01
Teor de água (máx)	mg/kg	200	200	200
Contaminação total (máx)	mg/kg	24	24	24
Corrosividade ao cobre (3h a 50°C)	-	1	1	1
Estabilidade à oxidação (máx)	-	2,5mg/100ml	Estabilidade à oxidação a 110°C de 12h;	25 g/m ³
Teor de metais (máx)	mg/kg	Não exigido	Não exigido	1,0 por metal
Teor de farnesano (mín)	% (m/m)	Não exigido	Não exigido	96
Ponto de entupimento de filtro a frio (máx)	°C	Tabela 3	Tabela 3	Tabela 3

Fonte: Elaboração própria, com base em ANP (2013a; 2014; 2020)

Observa-se na Tabela 2 que grande parte dos parâmetros elencados para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos são iguais aos exigidos para o diesel ou para o biodiesel base éster. Contudo, alguns deles não possuem essa equivalência, tais como: número de cetano, ponto de fulgor, lubricidade, ponto de entupimento de filtro a frio, total de aromáticos e teor de metais, que são analisados a seguir.

Em relação ao número de cetano, exige-se que o índice mínimo para o diesel B seja 48. Para o biodiesel base éster, não é exigido qualquer valor para este parâmetro, apenas o seu registro, enquanto que na proposta para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, este índice deve ser, no mínimo, 51. Adicionalmente, a ANP especifica que o diesel B possua, no mínimo, ponto de fulgor igual a 38°C. Por sua vez, o biodiesel base éster deve possuir ponto de fulgor superior a 100°C¹² e o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, maior que 55°C.

Outro ponto de atenção é a observância da lubricidade, de forma a reduzir o desgaste das peças de toda a linha de alimentação do motor e, consequentemente, aumentar seu tempo de vida (FARIAS, 2015). Por este motivo, a Resolução ANP nº50/2013 (ANP, 2013b) exige que “a medição da lubricidade deverá ser realizada em amostra com biodiesel, no teor estabelecido pela legislação vigente”. Como este teste é realizado no diesel B, a Resolução ANP nº45/2014 (ANP, 2014) não exige que a lubricidade do biodiesel base éster seja mensurada. Porém, é uma propriedade exigida para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, devendo este produto apresentar lubricidade máxima de 460 µm a 60°C.

Outro destaque é dado ao teor de metais, o que não é exigido para o diesel B, nem para o biodiesel base éster, mas é para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, devendo o teor de cada metal presente no catalisador da reação de obtenção do produto ser de, no máximo, 0,1ppm.

Ademais, o teor de aromáticos não faz parte das exigências para o biodiesel base éster, mas apresenta teor máximo de 11% (em massa) para o diesel B. No entanto, é exigido que o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos apresente teor máximo de 1% (em massa).

Por sua vez, o ponto de entupimento de filtro a frio exigido por Unidade Federativa para os combustíveis ora tratados é apresentado na Tabela 3.

¹² Como o biodiesel de esterificação/transesterificação é obtido através da reação com metanol ou etanol, a exigência de ponto de fulgor elevado é uma forma indireta de limitar o teor desses álcoois no produto final.

Tabela 3 - Ponto de entupimento de filtro a frio, máx (°C)

UF	Combustível	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SP, MG e MS	Diesel S10 e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos	12	12	12	7	3	3	3	3	7	9	9	12
	Biodiesel base éster	14	14	14	12	8	8	8	8	8	12	14	14
GO, DF, MT, ES e RJ	Diesel S10 e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos	12	12	12	10	5	5	5	8	8	10	12	12
	Biodiesel base éster	14	14	14	14	10	10	10	10	10	14	14	14
PR, SC e RS	Diesel S10 e biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos	10	10	7	7	0	0	0	0	0	7	7	10
	Biodiesel base éster	14	14	14	10	5	5	5	5	5	10	14	14

Fonte: Elaboração própria, com base em ANP (2013a; 2014, 2020)

A exigência para o ponto de entupimento de filtro a frio para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos é a mesma que para o diesel B, mas observa-se que as especificações para ambos os combustíveis são mais restritivas que a exigência para o biodiesel base éster.

Sugere-se que a proposta de especificação do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, potencial substituto tanto do biodiesel base éster quanto do diesel fóssil, não apresente maiores restrições que as exigidas dos demais combustíveis. Caso o teor de metais no biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos seja um ponto importante a ser regulado por conta de possíveis efeitos adversos na cadeia e no uso do combustível, esta exigência deveria estar presente na especificação do diesel fóssil, uma vez que este passa por processos de hidrotratamento¹³, com catalisadores semelhantes aos utilizados, por exemplo, na obtenção do HVO. Do mesmo modo, entende-se que os limites de número de cetano e teor de aromáticos devem apresentar os mesmos valores para o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos e os demais combustíveis.

Ressalta-se que as especificações técnicas existentes para o diesel B deverão ser atendidas após a adição do biocombustível, seja o biodiesel de base éster ou o de base hidrocarbonetos parafínicos.

¹³ Os processos de hidrotratamento (HDT) se tornam obrigatórios ao se reduzir, cada vez mais, os teores de enxofre no combustível final.

4. Considerações Finais

O Brasil possui um elevado potencial para o desenvolvimento e uso de combustíveis renováveis, por sua disponibilidade de recursos energéticos, dadas suas condições edafoclimáticas bastante favoráveis e extensa disponibilidade de terra. A matriz energética nacional apresenta elevado grau de renovabilidade, destacando-se o aproveitamento de biomassa por diversos processos tecnológicos. Isto contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes.

Destaca-se que cerca de 70% do biodiesel produzido no Brasil tem como matéria-prima o óleo de soja. Segundo a EMBRAPA (2019), o país se destaca no mercado mundial como o segundo maior produtor de soja, com produção de 114,8 milhões de toneladas na safra 2018/2019. Para esta oleaginosa, o produto principal é o seu farelo, rico em proteína, utilizado majoritariamente como ração animal, sendo o óleo um coproduto. No caso do Brasil, não se observa a competição entre a produção de alimentos e biocombustíveis. Desta forma, a produção e uso do biodiesel, em quaisquer das possibilidades, seja na forma de éster ou de biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos (diesel verde), apresenta-se como uma significativa oportunidade para agregar valor na cadeia produtiva das oleaginosas, com os impactos positivos relacionados à criação de emprego e renda, além de contribuir para a segurança energética do Brasil, bem como os benefícios ambientais, de mitigação da mudança do clima e da poluição local.

Em 2019, a ANP iniciou discussões sobre a regulamentação do biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, visando a possibilidade de sua comercialização no mercado. Esta Nota Técnica aborda de forma sucinta tópicos relacionados aos processos de produção, especificações técnicas, aspectos ambientais, regulamentação internacional, além de desafios e oportunidades para a sua inserção no mercado nacional de combustíveis.

Dadas suas características físico-químicas semelhantes ao diesel de origem fóssil, o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos pode ser elegível para formulação do diesel B, tanto no percentual dedicado à parcela renovável (desde 2008, representada pelo biodiesel base éster), quanto em substituição ao diesel mineral. O biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos apresenta-se como importante alternativa para o atendimento aos critérios estabelecidos para a motorização atual e futura prevista pelo PROCONVE para veículos pesados. Além disso, esse combustível renovável já está sendo considerado no RenovaBio.

Ressalta-se que este biocombustível apresenta elevados consumos energéticos em algumas rotas tecnológicas, o que pode impactar nos custos de produção, afetar a formação de preço e influenciar a penetração no mercado brasileiro de combustíveis. A fim de possibilitar a inserção neste mercado, a ANP iniciou a análise para regulamentar o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos, considerando seus limites de especificação. Destaca-se ainda, que especificações ainda mais restritivas a este combustível, comparadas aos seus potenciais concorrentes, poderiam ser barreiras ao desenvolvimento desta indústria. Ainda que o biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos naturalmente apresente propriedades melhores que o biodiesel base éster e o diesel fóssil, entende-se que um maior rigor em suas especificações poderia restringir o desenvolvimento do mercado. Assim, os limites de especificação precisam ser cautelosamente estabelecidos, de forma a não sobreonerar um outro combustível renovável, que surge com potencial de proporcionar benefícios técnicos, ambientais e sociais ao Brasil. Além disso, destaca-se que exigências superiores quanto à especificação têm o potencial de incrementar o preço do produto final.

Por fim, indica-se a realização de estudos acerca da potencial demanda de biodiesel base hidrocarbonetos parafínicos no Brasil, bem como sobre mercados concorrentes capazes de deslocar, total ou parcialmente, a oferta deste biocombustível.

Referências

- 1) ACEA – Association des Constructeurs Européens d'Automobiles. **ACEA position concerning diesel that might contain more than 7% FAME.** ACEA, 2014. Disponível em: https://www.acea.be/uploads/publications/140422_ACEA_position_on_B7_diesel.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 2) _____. **List of ACEA member company passenger cars, light commercial vehicles (vans) and heavy-duty vehicles (or heavy-duty engine models) that are compatible with using 'B10' diesel fuel.** Disponível em: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_B10_compatibility.pdf. ACEA, 2018. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 3) AFEEVAS – Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul, (2019). **Consumo de ARLA 32 reduz déficit e fecha ano 35% abaixo do necessário para a frota de pesados.** AFEEVAS: São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.arla32.org.br/wp-content/uploads/2017/03/pdf17.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 4) ALBUQUERQUE, N. MAIA, A. ET AL. Apresentação. Curso 2. **Rotas Tecnológicas para produção de combustíveis para aviação.** 1º Congresso Brasileiro da Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para aviação. ANP. Embraer. 2019.
- 5) AMIRYS. **Our Story**, 2019. Disponível em: <https://amyris.com/our-story/>. Acesso em: 22 de jan. 2020.
- 6) ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 42, de 24 de novembro de 2004. Regulamenta as especificações do biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 dez. 2004. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 7) _____. Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2012. Estabelece a especificação do biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mai. 2012. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 8) _____. Resolução ANP nº 20, de 24 de junho de 2013a. Regulamenta as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos, e de suas misturas com o Querosene de Aviação (QAV-1). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 jun. 2013. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2020.
- 9) _____. Resolução ANP nº 50, de 23 de dezembro de 2013b. Regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 dez. 2013. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 10) _____. Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014. Regulamenta as especificações do biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 ago. 2014. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 11) _____. Resolução ANP nº 758, de 23 de novembro de 2018. Regulamenta a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis de que trata o art. 18 da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e o credenciamento de firmas inspetoras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 nov. 2018. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 12) _____. Resolução ANP nº 778, de 05 de abril de 2019a. Estabelece as especificações do querosene de aviação, querosenes de aviação alternativos e do querosene de aviação C, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializam esses produtos em território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 abr. 2019. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 13) _____. **Nota Técnica nº 13/2019/SBQ/RJ.** Resolução que tratará da individualização das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para comercialização de combustíveis, aplicáveis a todos os distribuidores de combustíveis, de que trata o art. 7º da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Rio de Janeiro, 01 de fevereiro 2019b. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 14) _____. Resolução ANP nº 798, de 01 de agosto de 2019c. Estabelece as especificações de qualidade de biodiesel, para determinar a obrigatoriedade da aditivação do biodiesel com antioxidante e estabelecer novo limite de especificação da característica estabilidade à oxidação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 ago. 2019. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 15) _____. Despacho ANP nº 621, de 06 de agosto de 2019d. Fixa o percentual de adição de até 15%, em volume, de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 ago. 2019. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 16) _____. Consulta Pública nº 03, de 17 de mar. 2020, publicada no D.O.U. de 17 de mar. 2020. 2020. Disponível em www.anp.gov.br. Acesso em: 17 mar.2020.
- 17) BIODIESELBR. **Petrobras para de produzir H-BIO, 2007.** Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/petrobras-produzir-hbio-30-07-07>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- 18) BIODIESEL MAGAZINE. **9 facts to rev you upon National Biodiesel Day, 2016.** Disponível em: <http://www.biodieselmagazine.com/articles/903534/9-facts-to-rev-you-up-on-national-biodiesel-day>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- 19) BRASIL. Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 nov. 1993. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 20) _____. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 ago. 1997. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 27 dez. 2019.
- 21) _____. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 14 jan. 2020.
- 22) _____. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 setembro. 2014. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 14 jan. 2020.

- 23) _____. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 março. 2016. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 24) CEN – Comité Européen de Normalisation. **European Standard EN 590: Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods**. ICS 75.160.20, 2009. Disponível em: http://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN_590_2009_hhV05.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 25) _____. **European Standard EN 15940: Automotive Fuels - Paraffinic Diesel Fuel From Synthesis Or Hydrotreatment - Requirements And Test Methods**. 2012. Disponível em: https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/cen-ts-15940-2012-338239_SAIG_CEN_CEN_775790/. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 26) _____. **European Standard EN 16734: Automotive fuels – Automotive B10 diesel fuel - Requirements and test methods**. ICS 75.160.20, 2016. Disponível em: <https://standards.globalspec.com/std/13127023/EN%2016734>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 27) CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018. Estabelece a fase PROCONVE P8 de exigências do PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 nov. 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em 14 jan. 2020.
- 28) CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. Resolução CNPE nº 02, de 13 de março de 2008. Estabelece em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 mar. 2008. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 29) _____. Resolução CNPE nº 02, de 27 de abril de 2009a. Estabelece em cinco por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mai. 2009. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 30) _____. Resolução CNPE nº 06, de 16 de setembro de 2009b. Estabelece em quatro por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 out. 2010. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 31) _____. Resolução CNPE nº 03, de 21 de setembro de 2015. Autoriza e define diretrizes para comercialização e uso voluntário de biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 out. 2015. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 32) _____. Resolução CNPE nº 11, de 14 de dezembro de 2016. Dispõe sobre adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 mar. 2017. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 33) _____. Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Conselho Nacional de Política Energética. Brasília: Diário Oficial da União. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 nov. 2018. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em 14 jan. 2020.
- 34) DENSO. **Fuel Requirements for Diesel Fuel Injection Systems Diesel Fuel Injection Equipment Manufacturers Common Position Statement**. 2009. Setembro 2009. Disponível em: http://www.globaldenso.com/en/topics/files/common_position_paper.pdf. Acesso em: 25 nov. 2019.
- 35) DOE – U.S. Department of Energy. Drop-in Biofuels: the key role of co-processing. Apresentação de Jim Spaeth. U.S. Department: Bioenergy Technologies Office, 28 de maio de 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2019/May/biojet-EUBCE/6-Jim-Spaeth.pdf?la=en&hash=CB5D91F6C9B4109885A7CFEE71281893A25F22DD>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- 36) DUARTE, A. Biomass to Liquids: uma contribuição ao estudo da obtenção de biocombustíveis sintéticos através da síntese Fischer-Tropsch. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. EP/FEA/IEE/IF / USP. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 37) EC - European Commission. **European Alternative Fuels Observatory. Biofuels. Hydrotreated Vegetable Oils**. 2019. Disponível em: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/hvo>. Acesso em: 25 de nov. 2019.
- 38) EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2018/2019)**. Embrapa Soja. Disponível: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 30 de jan. 2020.
- 39) EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis: ano 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 25 nov. 2019.
- 40) _____. **Balanço Energético Nacional 2019: ano base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 06 de jan. 2020.
- 41) EUA. **Energy independence and security act of 2007**. Washington, DC, 19 dez. 2007. Disponível em: <http://www.govtrack.us/congress/billtext.xpd?bill=h110-6>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 42) ICCT – International Council on Clean Transportation. **Deficiencies in the Brazilian PROCONVE P-7 and the case for P-8 standards**. Março, 2016. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20P-7%20Briefing%20Paper%20Final_revised.pdf. Acesso em 10 dez. 2019.
- 43) _____. **B10: Os debates sobre o combustível de referência não devem atrasar a adoção de limites de emissão rigorosos para veículos pesados no Brasil**. Agosto, 2018. Disponível em: <https://theicct.org/blog/staff/brazil-p8-reference-fuel-qs-portuguese-20180801>. Acesso em 10 dez. 2019.
- 44) _____. **Brazil PROCONVE P-8 Emission Standards**. Fevereiro, 2019. Disponível em: <https://theicct.org/publications/brazil-proconve-p-8-emission-standards>. Acesso em 10 dez. 2019.
- 45) IEA – International Energy Agency. **CO₂ emissions from fuel combustion**. IEA, 2019.
- 46) _____. **Drop in Biofuels: the key role of co-processing will play in its production**. IEA Bioenergy: Task 39, Janeiro 2019. Disponível em: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/09/Task-39-Drop-in-Biofuels-Full-Report-January-2019.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- 47) IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for Policymakers Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change**. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

- Climate Change. Figure SPM.2 - Greenhouse Gas Emissions by Economic Sectors. Summary for Policymakers. Página 9. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Acesso em: 21 de jan. 2020.
- 48) FARAH, M.A. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- 49) FARIAS, A. C. M. Lubricidade de biodiesel e sua associação com a vibração e nível de pressão sonora oriundos do contato esfera-plano sob deslizamento alternado. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- 50) MACHADO, C. M. M. **Microorganismos na produção de biocombustíveis líquidos**. Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00052920.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- 51) MME – Ministério de Minas e Energia. **Relatório de consolidação dos testes para validação da utilização de misturas com Biodiesel B10 em motores e veículos**. Grupo de Trabalho para Testes com Biodiesel, Portaria MME nº 262/2016 e Portaria MME nº 80/2017. Brasília: MME, abril de 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/20182/7946b947-dffa-4884-9284-2d32aee9b9b1>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 52) _____. **Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos**. Grupo de Trabalho para Testes com Biodiesel, Portaria MME nº 262/2016 e Portaria MME nº 80/2017. Brasília: MME, fevereiro de 2019a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/20182/6a5a7ec6-c930-9d41-c737-04d52814546c>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 53) _____. **Atendimento às recomendações do Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos**. Grupo de Trabalho para Testes com Biodiesel, Portaria MME nº 262/2016 e Portaria MME nº 80/2017. Brasília: MME, fevereiro de 2019b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/20182/69364fb4-0ba0-8c3b-71eb-e8b1bbc3ed06>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 54) NESTE. **Neste Renewable Diesel Handbook**. Espoo: NESTE, maio de 2016. Disponível em: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 55) NREL – National Renewable Energy Laboratory. Biogas Potential in the United States. NREL: Energy Analysis, Agosto 2013. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf>. Acesso em: 13 abril 2020.
- 56) PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A. **Petrobras desenvolve nova tecnologia para a produção de óleo diesel, 2006**. Fato Relevante. Disponível em: <https://www.investidorpetrobras.com.br/ptb/8195/c-8195-ptb.html>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- 57) REG – Renewable Energy Group. **Renewable Fuels for Diesel Market**. Apresentação na 9th ISCC Global Sustainability Conference. 14 de fevereiro de 2019.
- 58) UE – União Europeia. Directiva 1997/24/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de junho de 1997 relativa a determinados elementos ou características dos veículos a motor de duas ou três. **Official Journal of the European Union**, 17 jun. 1997. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997L0024&from=en>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 59) _____. **Documento de Acompanhamento à proposta para a Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho que altera a Directiva 98/70/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 13 de outubro de 1998 relativa à qualidade da gasolina e do combustível para motores diesel e que altera a Directiva 93/12/CEE**. 2009c. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012SC0343&from=fr>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 60) _____. Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. **Official Journal of the European Union**, 23 mar. 2009a. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:PT:PDF>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 61) _____. DIRECTIVA 2009/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 que altera a Directiva 98/70/CE no que se refere às especificações da gasolina e do gasóleo rodoviário e não rodoviário e à introdução de um mecanismo de monitorização e de redução das emissões de gases com efeito de estufa e que altera a Directiva 1999/32/CE do Conselho no que se refere às especificações dos combustíveis utilizados nas embarcações de navegação interior e que revoga a Directiva 93/12/CEE. **Official Journal of the European Union**, 23 mar. 2009b. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=EN>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 62) _____. **Parliamentary questions. Answer given by Ms Hedegaard on behalf of the Commission**, 2010. E-9096/2010. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2010-9096&language=EN>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- 63) USDA. – US. Department of Agriculture. **EU Biofuels Annual 2018**. EU-28. Gain Report Number NL 8027. USDA Foreign Agricultural Service/Global Agricultural Information. USDA: Março de 2018. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-3-2018.pdf. Acesso em: 18 dez. 2019.
- 64) SCALDAFERRI, C. A. Síntese de bio-hidrocarbonetos via catálise heterogênea para a produção de bioquerosene de aviação e diesel verde. 2019. Tese (Doutorado em Química) - Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 65) SCANIA. Produtos e Serviços. Artigos. **Combustíveis Alternativos**, 2019. Disponível em: <https://www.scania.com/pt/pt/home/products-and-services/articles/alternative-fuels.html>. Acessado em: 25 de nov. 2019.
- 66) VINHADO, F. S.; SOUZA, L. M. GONÇALVES, M. F. Apresentação. Curso 1. **Regulamentação e garantia da qualidade de combustíveis de aviação sustentáveis**. 1º Congresso Brasileiro da Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para aviação. ANP. Embraer. 2019.