

## Qualidade de Combustíveis e as Novas Políticas Ambientais

Eduardo C. M. Faria, Aline M. Silva, Eduardo H. S. Cavalcanti, Kesio F. Ferreira & Hamilton B. Napolitano

Os combustíveis fósseis possuem origem não-renovável e são amplamente utilizados em todo o mundo, estando associados a uma grande parcela da emissão de gases poluentes na atmosfera terrestre. Existe uma demanda muito grande e crescente pela maior participação de fontes energéticas renováveis e menos poluentes na matriz energética mundial, sendo os biocombustíveis uma alternativa promissora e em crescente utilização no Brasil. A utilização de biocombustíveis em motores a combustão interna, apesar de favorecer a redução de poluentes, gera alguns problemas técnicos associados à sua menor estabilidade e suscetibilidade à degradação quando comparado a combustíveis fósseis. Como alternativa, aditivos podem ser aplicados de forma a garantir estabilidade e manutenção das propriedades físico-químicas dos biocombustíveis e suas misturas com combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** *políticas ambientais; biocombustíveis; aditivos.*

Fossil fuels have a non-renewable origin and are widely used throughout the world, being associated with a large portion of the emission of polluting gases in the Earth's atmosphere. There is a very large and growing demand for greater participation of renewable and less polluting energy sources in the global energy matrix, with biofuels being a promising alternative and in growing use in Brazil. The use of biofuels in internal combustion engines, despite favoring the reduction of pollutants, generates some technical problems associated with their lower stability and susceptibility to degradation when compared to fossil fuels. As an alternative, additives can be applied to ensure stability and maintenance of the physicochemical properties of biofuels and their blends with fossil fuels.

**Keywords:** *environmental policies; biofuels; additives.*

## Introdução

Nos últimos anos ocorreram inúmeras mudanças no cenário ambiental mundial, demandando esforços para adequação de atividades e definição de processos mais sustentáveis e que favoreçam a redução dos impactos antrópicos ao ecossistema terrestre. Nesse contexto, de acordo com da Silva et al. (2017)<sup>1</sup>, a partir do início da década de 80, intensificou-se a consciência ambiental no mundo corporativo, fenômeno ocasionado pelo aumento do nível de exigência dos consumidores e pelas mudanças nas legislações que se tornaram mais rígidas, estabelecendo-se novas normas de segurança ambiental e preservação dos recursos naturais<sup>2-4</sup>.

Como consequência, o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética mundial é uma tendência, aflorada principalmente pelas novas políticas ambientais que visam reduzir a dependência da sociedade dos combustíveis fósseis e promover menores índices de emissões de poluentes atmosféricos<sup>5,6</sup>. De acordo com de Araújo & de Oliveira (2020)<sup>7</sup> o óleo diesel é capaz de gerar após a queima 20,2 toneladas de carbono por terajoule de combustível queimado (tC/TJ) enquanto que a gasolina apresenta um fator de emissão de 18,9 tC/TJ e o etanol hidratado combustível de 14,81 tC/TJ. Como consequência existe uma forte tendência à substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis de origem renovável, sendo destaque no Brasil o biodiesel e etanol como combustíveis alternativos para motores ciclo diesel e ciclo otto, respectivamente. Todavia, a utilização dos biocombustíveis pode ocasionar alguns problemas técnicos, relacionados principalmente à sua maior suscetibilidade à degradação em relação a combustíveis não-renováveis como gasolina e diesel, representando assim oportunidades de desenvolvimento de novas tecnologias que reduzam os processos de degradação e ofereçam maior vida útil e estabilidade aos biocombustíveis, incluindo assim o desenvolvimento de novos aditivos.

## Biocombustíveis no Brasil

O Brasil sempre foi um país com destaque no cenário mundial no que se refere à utilização dos biocombustíveis no setor de transportes. Na década de 70 foi instituída uma crise mundial de petróleo com elevação do preço dos combustíveis fósseis a valores exorbitantes, fato que promoveu esforços por parte do governo brasileiro para o desenvolvimento de um combustível alternativo para motores ciclo Otto que até então eram movidos apenas a gasolina, culminando com a criação do Proálcool em 1975<sup>8</sup>, programa do governo federal brasileiro que visava estimular a indústria sucroalcooleira para aumento da produção do etanol combustível, bem como a indústria automobilística para o desenvolvimento de motores compatíveis com o biocombustível<sup>9-11</sup>. Entretanto, com o passar dos anos o Proálcool perdeu sua força ocorrendo um declínio a partir do final da década de 80, ocasionado principalmente pelas quedas expressivas de preços do petróleo, o que demandava maiores subsídios do Governo Federal brasileiro em favor da produção e comercialização de etanol, em um momento que a economia do país enfrentava uma grande recessão. Além disso, nesse período as usinas sucroalcooleiras ficaram desestimuladas pelos baixos preços pagos pelo litro do combustível derivado da cana-de-açúcar, priorizando assim a produção do açúcar que era bastante valorizado no mercado internacional<sup>11</sup>. Como consequência ocorreram problemas de desabastecimento de etanol gerando insatisfação e insegurança para a população quanto à compra e posse de veículos movidos a álcool. De acordo com Gilio & Castro, (2016)<sup>12</sup> a produção de veículos movidos exclusivamente a etanol no Brasil que em 1990 representava 19% do mercado passou para quase zero em 1996<sup>12</sup>. Anos mais tarde, em 2003, foi lançado no Brasil o primeiro veículo com tecnologia que permitia a utilização de gasolina e/ou etanol conforme o desejo do consumidor de forma separada ou simultaneamente, denominado veículo *flex fuel*, fato que favoreceu novamente um aumento da demanda por etanol combustível no Brasil, que se estende até os dias atuais<sup>13</sup>.

Quando se fala em veículos de transporte de cargas e passageiros, o sistema de propulsão predominante é o motor a combustão interna ciclo diesel, um tipo de motor a combustão por compressão. Apesar dos motores a diesel representarem uma parcela minoritária da frota de veículos brasileira, são responsáveis por grande parte das emissões de poluentes atmosféricos. As entradas do biodiesel e do etanol no mercado brasileiro se deram de formas distintas. Conforme citado, o etanol, que surgiu como um combustível alternativo à gasolina no início da década de 70, teve seu ápice de consumo no setor de transportes a partir do desenvolvimento dos veículos com tecnologia *flex fuel*, sendo sua demanda dependente da escolha dos consumidores brasileiros, considerando ainda que existem veículos mais antigos em uso, que podem ser abastecidos apenas com o etanol (veículos a álcool). Diferentemente, para o biodiesel foi necessária uma intervenção legal do Governo Federal brasileiro para inserção do biocombustível no setor de transportes. Em 13 de janeiro de 2005 foi sancionada a Lei Federal nº 11.097<sup>14</sup> que dispôs sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Inicialmente se tornou obrigatório a adição de 5 por cento em volume de biodiesel ao diesel comercializado em todo território nacional brasileiro em até três anos após a sua sanção, sendo criado o chamado diesel B5<sup>15,16</sup>. Com o passar dos anos, esse percentual passou por aumentos gradativos até que em março de 2020 a Resolução do CNPE nº 16 de 29 de outubro de 2018 definiu um novo calendário para elevação do teor de biodiesel no diesel comercial, aumentando para 13 por cento em volume a partir de 01/03/2021 e com novos aumentos de um ponto percentual anual até ser atingida a meta de estabelecimento do B15 (diesel contendo 15 %v/v de biodiesel em sua composição) a partir de 01/03/2023<sup>17</sup>.

## IMPACTOS AMBIENTAIS DE COMBUSTÍVEIS

Os motores a combustão interna são máquinas térmicas que convertem a energia proveniente da queima de combustíveis em energia mecânica, em inúmeras aplicações, tais como, veículos automotores<sup>18</sup>, geração de energia

elétrica<sup>19</sup> além de máquinas e equipamentos agrícolas<sup>20</sup> e industriais<sup>21</sup>. O desenvolvimento dos primeiros motores a combustão interna foi impulsionado pela Revolução Industrial, evento mundial histórico iniciado na Inglaterra na segunda metade do século XVIII, que culminou em mudanças no setor industrial com mecanização de processos e aplicação de máquinas a vapor em substituição de mão-de-obra humana e tração animal. Anos depois, em 1866 o engenheiro e inventor alemão Nikolaus August Otto (1832-1891) criou o primeiro motor a combustão interna de quatro tempos, estabelecendo um sistema termodinâmico conhecido até os dias atuais como motor ciclo Otto<sup>22,23</sup>. Passando-se algumas décadas o engenheiro alemão Rudolf Diesel (1858-1913) obteve a patente do primeiro motor a combustão interna de autoignição por compressão, conhecido atualmente como motor ciclo diesel<sup>24</sup>. Com o desenvolvimento tecnológico ocorrido no decorrer dos anos, inúmeras mudanças foram aplicadas aos mecanismos dos motores a combustão interna, objetivando principalmente a melhoria do desempenho dos sistemas, redução de consumo e obtenção de menores níveis de emissões de poluentes atmosféricos, englobando desde aplicação de materiais construtivos mais leves e mais resistentes<sup>25,26</sup> até inserção de eletrônica para aprimoramento de controles, otimização da eficiência energética e durabilidade dos sistemas mecânicos<sup>27</sup>, além da redução dos níveis de emissões de poluentes que cresceu muito com uma maior utilização de motores a combustão interna.

Apesar dos desenvolvimentos tecnológicos que foram aplicados aos motores a combustão interna nas últimas décadas terem contribuído para a melhoria do desempenho dos sistemas e redução dos níveis de emissões de poluentes, o combustível ainda representa um importante fator que influencia de forma direta na eficiência dos veículos. Assim, no decorrer dos anos ocorreram mudanças nas legislações de combustíveis em todo o mundo, sendo estabelecidos parâmetros regulatórios por órgãos governamentais visando a garantia da disponibilização de combustíveis com níveis de qualidade satisfatórios para os usuários finais, corroborando com os esforços das montadoras para redução dos impactos ambientais da utilização dos veículos.

Do ponto de vista químico teórico a reação de queima estequiométrica completa dos combustíveis gera como produtos,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ . Todavia, essa condição depende de diversos fatores para ser satisfeita, portanto, não sendo observada na prática em um motor a combustão interna, ocorrendo em situações reais de queima a formação de subprodutos que são caracterizados como poluentes em potencial, tais como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos não-queimados (HC), aldeídos e material particulado. No decorrer dos anos houve redução significativa da emissão desses poluentes por veículos automotores, principalmente devido ao desenvolvimento de mecanismos de controle de injeção de combustível e pós-tratamento dos gases emitidos. Exemplificando essa redução, Sarkan et al. (2017)<sup>28</sup> apresentou resultados de testes de emissões em 8780 veículos a combustão interna ciclo Otto fabricados entre os anos de 1959 e 2010. Desse total, 1700 veículos eram dotados de sistema pós-tratamento de gases para controle de emissões (dispositivo catalisador) e sistema de controle de oxigênio livre nos gases de escape (dispositivo sonda lâmbda), sendo a maior parte ausente de quaisquer dispositivos para controle de emissões. Pela análise dos resultados verifica-se que o grupo de 1700 veículos, dotados dos dois tipos de sistemas, emitiram valores médios de CO e HC cerca de dez vezes mais baixos em relação aos demais veículos sem nenhum tipo de controle de emissões. Além disso, verifica-se que ocorreu uma redução dos níveis de emissão no decorrer dos anos, proporcionada pela evolução tecnológica da indústria automobilística com incorporação de novos processos de produção de motores e desenvolvimento de projetos que proporcionaram uma melhor eficiência energética aos veículos.

Os sistemas pós-tratamento surgiram como uma alternativa para minimização do impacto da utilização dos veículos automotores ao ecossistema terrestre, com aplicação de artifícios para redução dos níveis de emissões de poluentes pelos motores. Um dos dispositivos mais antigos desenvolvidos para essa finalidade e utilizado até os dias atuais pela indústria automobilística mundial é o catalisador, também denominado como conversor catalítico, elemento utilizado pelas montadoras

de veículos brasileiras desde o início da década de 90 para atendimento à fase L2 do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), representando uma das alternativas mais eficazes ao controle das emissões de HC, CO e  $\text{NOx}$ <sup>29</sup>. Os conversores catalíticos são construídos em formato de colmeia que pode ser revestida com os metais nobres platina, paládio, ródio e molibdênio, cuja função é favorecer a conversão de gases poluentes nocivos ao meio ambiente em gases não poluentes<sup>30</sup>. Logo, os catalisadores são instalados após o sistema de escape dos veículos de forma que os gases provenientes do coletor de escape dos motores fluem por dentro da colmeia. A eficiência das reações de conversão catalítica dos gases é diretamente proporcional à temperatura<sup>31</sup>. Logo, os catalisadores são posicionados o mais próximo possível dos motores para melhor aproveitamento da energia térmica contida nos gases exauridos do motor. Fatores adicionais como geometria e materiais construtivos dos catalisadores podem também afetar a sua eficiência de conversão<sup>29</sup>. A utilização de catalisadores em veículos demandou a redução do teor de enxofre nos combustíveis comerciais, visto que o enxofre é um elemento que interage fortemente com as fases ativas dos metais contidas no interior dos catalisadores se ligando às mesmas, o que reduz os níveis de metais ativos afetando consequentemente a eficiência de conversão dos gases poluentes. A redução ocorreu principalmente para o diesel comercial que era disponibilizado em quatro faixas de teores de enxofre de acordo com a RANP 65/2011<sup>32</sup> (S10, S50, S500 e S1800), sendo extinguida a comercialização dos tipos S50 e S1800 através da RANP 50/2013<sup>33</sup>, considerando “S” como o teor de enxofre no combustível em mg/kg. Assim, o diesel S10 atualmente é recomendável para veículos de tecnologias mais novas em que o enxofre afeta severamente os sistemas de pós-tratamento de gases, enquanto que o diesel S500 permanece em uso em veículos mais antigos que requerem maiores teores de enxofre no combustível para um funcionamento adequado dos motores no que concerne à maior capacidade de lubrificação dos combustíveis que possuem maiores teores de enxofre. No que diz respeito à gasolina, atualmente é vigente o tipo S50 com uma tendência para redução do teor de enxofre em futuro próximo para 10 mg/kg, a chamada gasolina S10.

## VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

O aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira surgiu como uma alternativa adicional à redução dos níveis de emissões de poluentes atmosféricos por veículos automotores e em prol de uma menor dependência de matrizes energéticas não-renováveis, em paralelo com o desenvolvimento de sistemas de pós-tratamento e controle. Diversas vantagens podem ser obtidas pela utilização de biocombustíveis como biodiesel e etanol, principalmente por se tratarem de produtos obtidos a partir de fontes renováveis, diferentemente dos combustíveis derivados de petróleo<sup>34,35</sup>. Quando se fala do biodiesel em específico, outros pontos positivos podem ser elencados – produção a partir de diversas fontes de origem animal ou vegetal<sup>36</sup> permitindo inclusive o reaproveitamento de óleos de fritura frequentemente descartados de forma inadequada, podendo ser um possível foco de poluição ambiental<sup>37</sup> – o biodiesel apresenta menor suscetibilidade à explosão reduzindo os riscos de acidentes durante operações de armazenamento e transporte<sup>38</sup> – quando abastecido em motores o biodiesel promove uma redução dos níveis de emissões de CO, HC e material particulado em relação ao diesel de petróleo<sup>37,39-42</sup>. Porém, a utilização de biodiesel em veículos pode gerar alguns problemas técnicos aos produtores, distribuidores e usuários finais: o biodiesel é mais suscetível à oxidação e à biodegradação em relação ao diesel de petróleo<sup>43,44</sup>, favorecendo a alteração de importantes características físico-químicas que influenciam no desempenho dos motores e podem inclusive danificar componentes do sistema de injeção; a maior taxa de degradação do biodiesel pode resultar na formação de materiais em suspensão e incremento de viscosidade e consequente produção de depósitos em elementos mecânicos como bico injetor, bombas de alta e baixa pressão, filtros de combustível, bem como dutos e mangueiras os quais o combustível deteriorado possa manter contato); adicionalmente, a reação de queima do biodiesel nos motores é mais exotérmica do que a do diesel mineral, o que catalisa os processos oxidativos do

gás N<sub>2</sub> e, conseqüentemente, contribui para o aumento dos níveis de emissão de NOx<sup>39-42</sup>; além disso, conforme relatado por Leggieri et al. (2018)<sup>45</sup>, o biodiesel é mais suscetível à cristalização quando exposto a condições de baixa temperatura o que pode dificultar a partida a frio em determinadas regiões e períodos do ano (segundo os mesmos autores o ponto de solidificação do biodiesel pode variar entre -10,15 e 24,85 °C enquanto que para o diesel de petróleo pode estar entre -27,15 a -15,15 °C)<sup>45</sup>. Assim, os aditivos representam uma importante contramedida que pode ser utilizada para viabilização da utilização dos biocombustíveis minimizando a incidência de problemas de qualidade associados aos combustíveis e viabilizando um custo-benefício satisfatório dos pontos de vista técnico, comercial e ambiental<sup>46</sup>.

## Aditivos para Combustíveis

A demanda por aditivos para combustíveis tem crescido nos últimos anos, processo estimulado por uma maior participação de biocombustíveis no setor de transportes, principalmente etanol e biodiesel, sendo os mesmos mais higroscópicos que a gasolina e diesel de petróleo, além de apresentarem maior propensão à degradação por oxidação e pela ação de bactérias<sup>47-49</sup>. Portanto, o desenvolvimento e validação de aditivos representam importantes atividades, necessárias para viabilização de um custo-benefício que favoreça maiores participações dos biocombustíveis na matriz energética mundial, contribuindo assim com a redução da dependência de fontes não renováveis como o petróleo, além de gerar menores níveis de emissões de poluentes atmosféricos por veículos automotores.

O Brasil é um país de destaque no que se refere à produção e utilização de biocombustíveis. De acordo com a *Renewable Fuels Association* - RFA<sup>50</sup>, organização sediada no Estados Unidos que fornece diretrizes e subsidia estudos relacionados à produção e utilização do etanol, o Brasil é o segundo país que mais produz álcool etílico combustível em todo o mundo, respondendo por cerca de 30% da produção mundial de etanol no ano de 2020 (ver Tabela 1). O país foi também o segundo maior produtor de biodiesel no mundo no ano de 2020, atrás

apenas dos EUA, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE)<sup>51</sup>. Conforme ilustra a Figura 1, nos últimos anos houve uma produção crescente de biodiesel no Brasil, sendo que em 2020 ocorreu o auge com mais de 6 milhões de metros cúbicos produzidos no território brasileiro, valor 8.737 vezes maior que a produção total no ano de 2005 (ano de instituição do diesel B5), o que também confirma uma crescente participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira<sup>51</sup>.

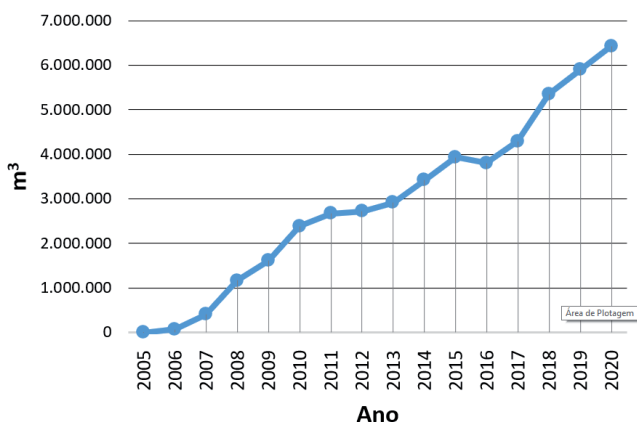


Figura 1: Produção anual de biodiesel no Brasil (2005 a 2020)<sup>51</sup>

O aumento da utilização de biocombustíveis pelos consumidores brasileiros resultou em uma maior demanda por aditivos para combustíveis e misturas contendo biocombustíveis, principalmente devido à necessidade de manter suas propriedades durante as operações de armazenamento e transporte, até os produtos serem abastecidos nos tanques dos veículos. De forma a atender a essa demanda, um grande número de aditivos surgiu no mercado nacional, fazendo com que a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicasse a Resolução ANP n° 1 de 06 de janeiro de 2014<sup>52</sup>, estabelecendo disposições legais para registro de aditivos para combustíveis, contemplando todos os requisitos necessários aos fabricantes de aditivos para registrar seus produtos junto à Autarquia. Contudo, em 29 de setembro de 2017 o mesmo órgão publicou a Resolução ANP n° 704/ 2017<sup>53</sup> que revogou a RANP 1/2014, retirando a obrigatoriedade de registros de aditivos para combustíveis, o que vigora até os dias atuais. Apesar da revogação permitir um maior número DE produtos em ampla concorrência no mercado, a não-obrigatoriedade de registro de produtos culmina com a venda de aditivos de má qualidade que podem resultar em lesão aos consumidores, muitas vezes não apresentando ação efetiva comprovada por testes que demandam elevados custos e por isso não são

Tabela 1: Produção mundial de etanol por região (2015 a 2020), milhões de litros por ano<sup>50</sup>.

Região	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% da produção mundial (2021)
EUA	56051,0	58345,0	60324,8	60911,5	59726,7	52716,1	53,4%
Brasil	27255,2	25551,7	25173,2	30245,7	32516,9	30018,5	30,4%
União Europeia	5148,2	5148,2	5375,3	5488,9	5186,1	4731,8	4,8%
China	2914,8	2536,2	3028,4	2914,8	3785,4	3331,2	3,4%
Índia	719,2	1059,9	757,1	1627,7	1930,6	1949,5	2,0%
Canadá	1703,4	1741,3	1741,3	1741,3	1968,4	1620,2	1,6%
Tailândia	1173,5	1287,1	1476,3	1476,3	1627,7	1514,2	1,5%
Argentina	832,8	908,5	1097,8	1097,8	1059,9	870,7	0,9%
Demais países	1487,7	1843,5	1718,6	2002,5	1976,0	1892,7	1,9%
Total	97285,8	98421,5	100692,7	107506,5	109777,8	98644,8	100%

realizados, além do fato de que o desenvolvimento de um químico para essas aplicações requer altos investimentos para estudo e definição de formulações adequadas.

As principais funções de um aditivo estão associadas ao aumento da vida útil dos combustíveis e proteção dos elementos mecânicos dos veículos os quais mantenham contato. Logo, um aditivo eficaz deve apresentar uma boa estabilidade térmica<sup>54</sup> e à oxidação<sup>46,55</sup>, apresentar alto potencial energético para favorecimento da queima nos motores, miscibilidade adequada com os combustíveis e em alguns casos, ser um agente contra microrganismos que possam proliferar nos tanques dos veículos<sup>56</sup>. Atividades adicionais podem estar contidas em alguns produtos, como por exemplo, poder detergente para limpeza de resíduos no sistema de combustível<sup>57</sup> e ação dispersante de água<sup>58</sup>. De forma geral, o custo adicional associado à utilização dos aditivos é inferior ao custo de reparos mecânicos devido à utilização de combustíveis de má qualidade que possam ter se deteriorado pela ausência de um aditivo adequado<sup>59-61</sup>. Para avaliação dessas características são estabelecidos testes normalizados visando validar a performance dos aditivos aplicando-se metodologias padronizadas.

A capacidade energética dos compostos é uma variável que influencia na queima dos mesmos no motor, principalmente em situações de partida a frio nas quais a propensão à queima do combustível é um importante fator. A energia disponível em um composto pode ser determinada através de diferentes formas, envolvendo assim cálculos teóricos e reacionais que elucidem a energia disponível a partir da sua estrutura molecular, bem como por meio de testes de bancada padronizados, que determinam de forma experimental o potencial energético dos compostos, como ocorre para o ensaio de poder calorífico utilizando uma bomba calorimétrica, de acordo com a metodologia ASTM D4809<sup>62-64</sup>. Assim, em estudos em prol do desenvolvimento de novos aditivos é muito importante o conhecimento da densidade energética das moléculas para configuração de seu potencial quando aplicado em combustíveis e suas misturas com biocombustíveis.

Da mesma forma como ocorre para a definição do potencial energético de um composto, a análise da sua estabilidade química pode se dar por meio de cálculos

teóricos associados a testes práticos de bancada, sendo possível assim conhecer as características de moléculas que possam ter potencial quando aplicadas como aditivos para combustíveis, na forma de agentes de otimização da estabilidade molecular e preservação da vida útil em condições de armazenamento e transporte. Nesse contexto, frequentemente conceitos relacionados a orbitais moleculares podem subsidiar estudos de desenvolvimento de novos aditivos para combustíveis e misturas contendo biocombustíveis. Assim, a diferença entre a energia do orbital molecular mais alto ocupado por elétrons, denominada por HOMO e do orbital molecular mais baixo, denominada por LUMO, está relacionada à reatividade do composto. A diferença entre a energia dos dois orbitais é denominada por GAP. Valores baixos de GAP indicam alta reatividade e conseqüentemente baixa estabilidade molecular. Por sua vez, altos valores de GAP indicam que a molécula possui alta estabilidade por apresentar baixa reatividade<sup>65-67</sup>. Portanto, o conhecimento estrutural dos compostos é fundamental para a sua caracterização. Os dados obtidos na análise de GAP podem ser associados a testes de bancada que simulam os meios termodinâmicos em que os aditivos estarão inseridos, ou seja, os combustíveis que serão aditivados dispostos nas condições termodinâmicas a que são expostos normalmente<sup>68,69</sup>. Durante períodos específicos os combustíveis são mantidos em contato com os aditivos nas condições citadas, sendo então monitorados parâmetros que qualificam o combustível através de testes normalizados<sup>70</sup>. Durante os processos de degradação de combustíveis ocorrem alterações de suas propriedades que podem ser constatadas por ensaios físico-químicos específicos, como é o caso do teste de estabilidade à oxidação Rancimat<sup>71</sup>, goma e tendência à formação de borra, conforme ilustra a Figura 2.

Muitas vezes o processo de degradação de combustíveis ocorre devido à proliferação de microrganismos que encontram nos tanques de armazenamento condições ideais para reprodução e manutenção de suas atividades fisiológicas. Os produtos gerados pelo metabolismo dos microrganismos alteram as propriedades dos combustíveis ocasionando problemas

no momento da utilização dos mesmos, principalmente relacionados ao aumento da viscosidade e formação de subprodutos que podem danificar elementos mecânicos dos motores trazendo diversos transtornos aos usuários<sup>72</sup>. Por exemplo, o biodiesel é um biocombustível mais suscetível à proliferação de bactérias em relação ao diesel extraído de petróleo, sendo, portanto, considerado mais biodegradável que o combustível fóssil. Apesar da maior biodegradabilidade de um combustível representar um benefício do ponto de vista ambiental, no que se refere a incidentes de derramamento ou correlatos, essa característica promove uma redução da sua vida útil<sup>73,74</sup>, dificultando operações de transporte e armazenamento, considerando ainda que em países continentais, como é o caso do Brasil, são requisitados longos períodos entre a produção dos biocombustíveis na usina até entrega ao consumidor final, muitas vezes distantes entre si a milhares de quilômetros<sup>73,75</sup>. Logo, surge assim um importante problema que pode ser resolvido de forma paliativa pelo uso de aditivos.



**Figura 2:** Bomba de combustível com depósito de borra (mistura diesel/ biodiesel deteriorada)

Assim como na análise do potencial energético e estabilidade molecular, a avaliação da potencial atividade antimicrobiana de um aditivo pode ser feita associando-se estudos teóricos a partir das estruturas moleculares a testes que envolvam a sua aplicação. A nível teórico normalmente a análise envolve testes *in silico* utilizando-se ferramentas

computacionais que estabelecem correlações entre as estruturas e possíveis atividades biológicas, partindo-se de dados já descritos na literatura. O estudo *in silico* é muito utilizado no desenvolvimento de fármacos para predição de diversas propriedades farmacológicas bem como outras características importantes, como por exemplo, solubilidade em diferentes meios<sup>76,77</sup>. Assim, o estudo *in silico* pode fornecer informações prévias dos compostos com direcionamento dos estudos de aplicação subsequentes<sup>78</sup>. Similarmente, estudos de desenvolvimento de aditivos podem envolver análise *in silico* associada a testes de aplicação dos compostos para verificação de sua ação antimicrobiológica, incluindo assim, testes de estabilidade de combustível e verificação das taxas de proliferação de microrganismos específicos que favorecem os processos de biodegradação. Os dados produzidos possibilitam então a definição se o aditivo apresenta atividade biológica eficaz que reduz os problemas associados a biodegradabilidade de combustíveis<sup>79,80</sup>.

Os estudos de desenvolvimento e validação de aditivos podem envolver ainda a avaliação da eficácia em relação a outros requisitos definidos de acordo com a necessidade dos clientes, tais como, ação detergente para limpeza de bicos injetores e elementos mecânicos do sistema de alimentação de combustível que possam ser pontos de depósito de resíduos, ação dispersante de água (característica hidrofóbica), redução da formação de precipitados sólidos e/ou materiais em suspensão na forma de borra ou goma entre outros. Testes adicionais podem abranger também medição de depósitos de resíduos em válvulas de admissão e ensaios de emissões de poluentes em dinamômetro, como ocorre respectivamente nos métodos ABNT NBR 16038: 2012<sup>81</sup> e ABNT NBR 6601: 2021<sup>82</sup>

## Referências Bibliográficas

1. da Silva, V.; Silveira-Martins, E.; Otto, I. Mensuração Da Consciência Ambiental Dos Consumidores: Proposta e Validação de Escala. *Rev. Adm. da Univ. Fed. St. Maria* **2017**, *10*, 63–78.
2. de Oliveira, V.; Aguiar, E.; Melo, L.; Correia, S. Marketing e Consumo Verde: A Influência Do Greenwashing Na Confiança



- Verde Dos Consumidores. *Rev. Gestão Soc. e Ambient.* **2019**, *13* (2), 93–110. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v13i2.2038>.
3. Schiochet, R. A Evolução Do Conceito de Marketing “Verde.” *Rev. Meio Ambient. e Sustentabilidade* **2018**, *15* (7), 21–35.
  4. Baktash, L.; Talib, M. Green Marketing Strategies: Exploring Intrinsic and Extrinsic Factors towards Green Customers’ Loyalty. *Environ. Manage.* **2019**, *20* (168), 127–134.
  5. Ribeiro, C.; Schirmer, W. Panorama Dos Combustíveis e Biocombustíveis No Brasil e as Emissões Gasosas Decorrentes Do Uso Da Gasolina/ Etanol. *Biofix Sci. J.* **2017**, *2* (2), 16–22. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539>.
  6. Kato, G.; Rocha, M. Dilemas Institucionais Na Promoção Dos Biocombustíveis: O Caso Do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel No Brasil. *Cad. do Desenvol.* **2011**, *6* (8), 329–354.
  7. de Araújo, A.; de Oliveira, E. Análise Do Consumo de Combustíveis Do Setor de Transporte Rodoviário No Brasil. *Rev. Estud. Debate* **2020**, *27* (3), 143–157. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v27i3a2020.2528>.
  8. Decreto nº 76.593 de 14 de Novembro de 1975 - Instituição do Proálcool <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>.
  9. Nitsch, M. O Programa de Biocombustíveis Proálcool No Contexto Da Estratégia Energética Brasileira. *Rev. Econ. Política* **1991**, *11* (2), 123–138.
  10. de Andrade, E.; de Carvalho, S.; de Souza, L. Programa Do Proálcool e o Etanol No Brasil. *Engevista* **2009**, *11* (2), 127–136.
  11. Rosillo-Calle, F.; Cortez, L. Towards Proálcool II - A Review of the Brazilian Bioethanol Programme. *Biomass and Bioenergy* **1998**, *14* (2), 115–124. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10020-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10020-4).
  12. Gilio, L.; Castro, N. Avaliação de Aspectos Limitantes Ao Crescimento Do Etanol e o Setor Sucroenergético No Brasil. *Rev. Eletrônica Energ.* **2016**, *6* (1), 58–74.
  13. Brito, T.; Islam, T.; Stettler, M.; Mouette, D.; Meade, N.; dos Santos, E. Transitions between Technological Generations of Alternative Fuel Vehicles in Brazil. *Energy Policy* **2019**, *134*, 110915. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110915>.
  14. Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005 - Lei do Biodiesel [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm#:~:text=Dispõe sobre a introdução do,2002%3B e dá outras providências](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm#:~:text=Dispõe sobre a introdução do,2002%3B e dá outras providências).
  15. Osaki, M.; Batalha, M. Produção de Biodiesel e Óleo Vegetal No Brasil: Realidade e Desafio. *Organ. Rurais Agroindustriais* **2011**, *13* (2), 227–242.
  16. Dantas, M.; Pinheiro, R. Marco Jurídico Do Biodiesel e o Modelo Regulatório Brasileiro. *Direito E-nergia* **2013**, *8*, 109–124.
  17. Resolução CNPE nº 16 de 29/10/2018 - Novos aumentos de teor de biodiesel <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369098>.
  18. Olabi, A.; Maizak, D.; Wilberforce, T. Review of the Regulation and Techniques to Eliminate Toxic Emissions from Diesel Engine Cars. *Sci. Total Environ.* **2020**, *748*, 141249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141249>.
  19. Ramirez, R.; Gutiérrez, A.; Eras, J.; Valencia, K.; Hernández, B.; Forero, J. Evaluation of the Energy Recovery Potential of Thermoelectric Generators in Diesel Engines. *J. Clean. Prod.* **2019**, *241*, 118412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118412>.
  20. Lovarelli, D.; Bacenetti, J. Exhaust Gases Emissions from Agricultural Tractors: State of the Art and Future Perspectives for Machinery Operators. *Biosyst. Eng.* **2019**, *186*, 204–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.07.011>.
  21. Shrivastava, N.; Khan, Z. Application of Soft Computing in the Field of Internal Combustion Engines: A Review. *Arch. Comput. Methods Eng.* **2018**, *25*, 707–726. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11831-017-9212-9>.
  22. Kharola, A.; Nikam, Y.; Patil, H. A Review of Literature to Aid in Management and Forecasting of Technology: A Case of Petrol Engines. *PM World J.* **2018**, *7* (5), 1–9.
  23. Javed, T.; Ahmed, A.; Raman, V.; Alqaity, A.; Johansson, B. Combustion-Based Transportation in a Carbon-Constrained World - A Review. *Pollut. from Energy Sources* **2018**, 7–34.
  24. Quazi, T.; Mhatre, C.; Khanolkar, S.; Patil, P.; Pawar, S. A Review on Internal Combustion Engines. *Int. J. Res. Eng. Sci. Manag.* **2018**, *1* (10), 790–792.
  25. Patel, M.; Pardhi, B.; Chopara, S.; Pal, M. Lightweight Composite Materials for Automotive - A Review. *Int. Res. J. Eng. Technol.* **2018**, *5* (11), 41–47.
  26. Udoye, N.; Inegbenebor, A.; Fayomi, O. The Study on Improvement of Aluminium Alloy for Engineering Application: A Review. *Int. J. Mech. Eng. Technol.* **2019**, *10* (3), 380–385.
  27. Ashok, B.; Ashok, S.; Kumar, C. Trends and Future Perspectives of Electronic Throttle Control System in a Spark Ignition Engine. *Annu. Rev. Control* **2017**, *44*, 97–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.05.002>.
  28. Sarkan, B.; Stopka, O.; Gnapp, J.; Caban, J. Investigation of Exhaust Emissions of Vehicles with the Spark Ignition Engine within Emission Control. *Procedia Eng.* **2017**, *187*, 775–782. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.437>.
  29. Leman, A.; Jajuli, A.; Feriyanto, D.; Rahman, F.; Zakaria, S. Advanced Catalytic Converter in Gasoline Engine Emission Control: A Review. *MATEC Web Conf.* **2017**, *87*, 02020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/20178702020>.

30. Venkateswarlu, K.; Kumar, R.; Krishna, R.; Sreenivasan, M. Modeling and Fabrication of Catalytic Converter for Emission Reduction. *Mater. Today Proc.* **2020**, *33*, 1093–1099. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.125>.
31. Balaji, G.; Premnath, O.; Yuvaraj, R.; Kohli, A. Experimental Analysis of Exhaust Emissions Using Catalytic Converter. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2018**, *402*, 012200. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/402/1/012200>.
32. Resolução ANP N° 65/ 2011. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: Rio de Janeiro 2011.
33. Resolução ANP N° 50/2013. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: Rio de Janeiro 2013.
34. Ramos, L.; Kothe, V.; César-Oliveira, M.; Muniz-Wypych, A.; Nakagaki, S.; Hrieger, N.; Wypych, F.; Cordeiro, C. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. *Rev. Virtual Química* **2017**, *9* (1), 317–369. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>.
35. Gebremariam, S.; Marchetti, J. Economics of Biodiesel Production: Review. *Energy Convers. Manag.* **2018**, *168*, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>.
36. Tabatabaei, M.; Aghbashlo, M.; Dehghani, M.; Panahi, H.; Mollahosseini, A.; Hosseini, M.; Soufyan, M. Reactor Technologies for Biodiesel Production and Processing: A Review. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2019**, *74*, 239–303. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.06.001>.
37. Singh, D.; Sharma, D.; Soni, S.; Sharma, S.; Sharma, P.; Jhalani, A. A Review on Feedstocks, Production Processes, and Yield for Different Generations of Biodiesel. *Fuel* **2020**, *262*, 116553. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>.
38. Du, E.; Cai, L.; Huang, K.; Tang, H.; Xu, X.; Tao, R. Reducing Viscosity to Promote Biodiesel for Energy Security and Improve Combustion Efficiency. *Fuel* **2018**, *211*, 194–196. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.055>.
39. Abed, K.; Gad, M.; Morsi, A.; Sayed, M.; Elyazeed, A. Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions. *Egypt. J. Pet.* **2019**, *28* (2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2019.03.001>.
40. Gad, M.; Araby, R.; Abed, K.; El-Ibiari, N.; Morsi, A.; El-Diwani, G. Performance and Emissions Characteristics of C.I. Engine Fueled with Palm Oil/Palm Oil Methyl Ester Blended with Diesel Fuel. *Egypt. J. Pet.* **2018**, *27* (2), 215–219. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.05.009>.
41. Abed, K.; Morsi, A.; Sayed, M.; Shaib, A.; Gad, M. Effect of Waste Cooking-Oil Biodiesel on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine. *Egypt. J. Pet.* **2018**, *27* (4), 985–989. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.008>.
42. Ndayishimiye, P.; Tazerout, M. Use of Palm Oil-Based Biofuel in the Internal Combustion Engines: Performance and Emissions Characteristics. *Energy* **2011**, *36* (3), 1790–1796. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.046>.
43. Cavalcanti, E.; Zimmer, A.; Bento, F.; Ferrão, M. Chemical and Microbial Storage Stability Studies and Shelf Life Determinations of Commercial Brazilian Biodiesels Stored in Carbon Steel Containers in Subtropical Conditions. *Fuel* **2019**, *236*, 993–1007.
44. de Sousa, L.; Garcia, M.; Santos, E.; Silva, J.; de Castro, A.; de Moura, C.; de Moura, E. Study of the Kinetic and Thermodynamic Parameters of the Oxidative Degradation Process of Biodiesel by the Action of Antioxidants Using the Rancimat and PetroOXY Methods. *Fuel* **2019**, *238*, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.082>.
45. Leggieri, P.; Senra, M.; Soh, L. Cloud Point and Crystallization in Fatty Acid Ethyl Ester Biodiesel Mixtures with and without Additives. *Fuel* **2018**, *222*, 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.100>.
46. Varatharajan, K.; Pushparani, D. Screening of Antioxidant Additives for Biodiesel Fuels. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *82*, 2017–2028. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.020>.
47. Vu, N.; Hien, P.; Man, T.; Thu, V.; Tri, M.; Nam, N. A Study on Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Ethanol Fuel Blend. *Materials (Basel)*. **2018**, *11* (59), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ma11010059>.
48. Astaghfari, G.; Soegijono, B. Influence of Heat Treatment on Structure and Corrosion Resistance of 8090 Aluminium Alloy for Ethanol Fuel Tank Application. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2019**, *694*, 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012032>.
49. Narisa, S.; Ariffin, S.; Khaidzir, H.; Hanizam, S. Review on the Compatibility of Non-Metal Materials in Automotive Components of Diesel Engine Vehicles with Blended Biodiesel Fuel. *Adv. Sci. Lett.* **2017**, *23* (5), 4728–4732. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8869>.
50. Annual World Fuel Ethanol Production (Mil. Gal.) <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/> (accessed Jun 29, 2021).
51. Dados de produção e entrega de biodiesel no Brasil <https://abiove.org.br/estatisticas/> (accessed Jun 29, 2021).
52. Resolução ANP N°1/ 2014. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: Brasília 2014.
53. Resolução ANP N° 704/ 2017. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: Brasília 2017.
54. Higgins, C.; Filip, S.; Afsar, A.; Hayes, W. Evaluation of Thermal and Oxidative Stability of Three Generations of Phenolic Based Novel Dendritic Fuel and Lubricant Additives. *React. Funct. Polym.* **2018**, *142*, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.06.009>.

55. França, F.; Freitas, L.; Ramos, A.; da Silva, G.; Brandão, S. Storage and Oxidation Stability of Commercial Biodiesel Using Moringa Oleifera Lam as an Antioxidant Additive. *Fuel* **2017**, *203*, 627–632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.020>.
56. Luz, G.; Sousa, B.; Guedes, A.; Barreto, C.; Brasil, L. Biocides Used as Additives to Biodiesels and Their Risks to the Environment and Public Health: A Review. *Molecules* **2018**, *23* (10), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules23102698>.
57. Shabanov, A.; Galyshev, Y.; Zaitsev, A.; Sidorov, A. Analysis of the Effect of Detergent Additives on Fuel on the Performance of a Diesel Engine. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2020**, *791*, 012073. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1757-899X/791/1/012073>.
58. Narayan, S.; Moravec, D.; Hauser, B.; Dallas, A.; Dutcher, C. Removing Water from Diesel Fuel: Understanding the Impact of Droplet Size on Dynamic Interfacial Tension of Water-in-Fuel Emulsions. *Energy Fuels* **2018**, *32* (7), 7326–7337. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b00502>.
59. Lawan, I.; Zhou, W.; Idris, A.; Jiang, Y.; Zhang, M.; Wang, L.; Yuan, Z. Synthesis, Properties and Effects of a Multi-Functional Biodiesel Fuel Additive. *Fuel Process. Technol.* **2020**, *198*, 106228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106228>.
60. Hoekman, S.; Leland, A. Literature Review on the Effects of Organometallic Fuel Additives in Gasoline and Diesel Fuels. *J. Fuels Lubr.* **2018**, *11* (1), 105–124. <https://doi.org/www.jstor.org/stable/26554699>.
61. Thangamani, S.; Sundaresan, S.; S., S.; Barawkar, V.; Jeyascelan, T. Impact of Biodiesel and Diesel Blends on the Fuel Filter: A Combined Experimental and Simulation Study. *Energy* **2021**, *227*, 120526. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120526>.
62. Faria, E.; Duarte, V.; da Silva, A.; Fernandes, F.; de Paula, R.; Alonso, C.; Oliveira, G.; Naplitano, H. New Halogen Chalcone with Potential for Application in Biofuels. *Energy Fuels* **2020**, *34*, 5958–5968.
63. Kokonkov, A.; Lyah, D.; Ivanov, S.; Stroykov, G.; Ivanova, P. Xperimental Estimation of Specific Heat of Combustion of Agglomerated Peat Fuel. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2019**, *378*, 012046. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/378/1/012046>.
64. American Society for Testing and Materials. ASTM D4809 - 18: Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method). 2018, p 10.
65. Dakhlaoui, I.; Karoui, K.; Jomni, F. Thermal Stability, Low Gap Energy and High Temperature Order–Disorder Phase Transition in Hybrid Material: [N (CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub>. *Appl. Organomet. Chem.* **2020**, *34* (4), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aoc.5545>.
66. Huang, Y.; Rong, C.; Zhang, R.; Liu, S. Evaluating Frontier Orbital Energy and HOMO/LUMO Gap with Descriptors from Density Functional Reactivity Theory. *J. Mol. Model.* **2017**, *23* (3), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00894-016-3175-x>.
67. Teunissen, J.; De Proft, F.; Vleschouwer, F. Tuning the HOMO–LUMO Energy Gap of Small Diamondoids Using Inverse Molecular Design. *J. Chem. Theory Comput.* **2017**, *13* (3), 1351–1365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jctc.6b01074>.
68. Suraj, C.; Krishnasamy, A.; Sundararajan, T. Investigations on Gradual and Accelerated Oxidative Stability of Karanja Biodiesel and Biodiesel–Diesel Blends. *Energy Fuels* **2019**, *33* (9), 9196–9204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b01678>.
69. Sundus, F.; Fazal, M.; Masjuki, H. Tribology with Biodiesel: A Study on Enhancing Biodiesel Stability and Its Fuel Properties. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *70*, 399–412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.217>.
70. Rial, R.; de Freitas, O.; dos Santos, G.; Nazário, C.; Viana, L. Evaluation of the Oxidative and Thermal Stability of Soybean Methyl Biodiesel with Additions of Dichloromethane Extract Ginger (Zingiber Officinale Roscoe). *Renew. Energy* **2019**, *143*, 295–300. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.164>.
71. BS EN 15751:2014: Automotive Fuels. Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Fuel and Blends with Diesel Fuel. Determination of Oxidation Stability by Accelerated Oxidation Method. European Standards 2014, p 22.
72. Kankeu, E.; Marx, S.; Brink, A. Adaptation Behaviour of Bacterial Species and Impact on the Biodegradation of Biodiesel–Diesel. *Brazilian J. Chem. Eng.* **2017**, *34* (2), 469–480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170342s20150491>.
73. Zivkovic, S.; Veljkovic, M. Environmental Impacts the of Production and Use of Biodiesel. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2018**, *25*, 191–199. <https://doi.org/doi:10.1007/s11356-017-0649-z>.
74. Kazanceva, I.; Sendžikienė, E.; Sendžikaitė, I. Evaluation of Biodegradability and Stability of Biodiesel Fuel and Its Mixtures. *Environ. Eng. Landsc. Manag.* **2017**, *24* (3), 101–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v24i3.3556>.
75. Sangeeta, K.; Rashmi, S. Impact of Biodegradable Behaviour of Diesel Fuels with Biodiesel Blending: A Review. *J. Biofuels* **2020**, *11* (1), 35–46. <https://doi.org/https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jbf&volume=11&issue=1&article=004>.
76. Zhu, F.; Li, X.; Yang, S.; Chen, Y. Clinical Success of Drug Targets Prospectively Predicted by In Silico Study. *Trends Pharmacol. Sci.* **2018**, *39* (3), 229–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tips.2017.12.002>.
77. Das, T.; Mehta, C.; Nayak, U. Multiple Approaches for Achieving Drug Solubility: An in Silico Perspective. *Drug Discov. Today* **2020**, *25* (7), 1206–1212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.04.016>.

78. Brás, N.; Neves, R.; Lopes, F.; Correia, M.; Palma, A.; Sousa, S.; Ramos, M. Combined in Silico and in Vitro Studies to Identify Novel Antidiabetic Flavonoids Targeting Glycogen Phosphorylase. *Bioorg. Chem.* **2021**, *108*, 104552. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104552>.
79. Horel, A.; Schiewer, S. Microbial Degradation of Different Hydrocarbon Fuels with Mycoremediation of Volatiles. *Microorganisms* **2020**, *8* (2), 163–178. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms8020163>.
80. Schiewer, S.; Horel, A. Biodiesel Addition Influences Biodegradation Rates of Fresh and Artificially Weathered Diesel Fuel in Alaskan Sand. *J. Cold Reg. Eng.* **2017**, *31* (4), 04017012 (1-14).
81. ABNT NBR 16038: 2012 - Combustíveis - Medição de Depósitos Em Válvulas de Admissão Em Motor Com Ignição Por Centelha. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: Rio de Janeiro 2012, pp 1–68.
82. ABNT NBR 6601: 2021 Versão Corrigida - Veículos Rodoviários Automotores Leves - Determinação de Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio, Dióxido de Carbono e Material Particulado No Gás de Escapamento. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: Rio de Janeiro 2021, pp 1–57.

---

**Eduardo C. M. Faria<sup>1,3\*</sup>, Aline M. Silva<sup>1</sup>, Eduardo H. S. Cavalcanti<sup>2</sup>, Kesio F. Ferreira<sup>1</sup> & Hamilton B. Napolitano<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Pesquisas e Eficiência Energética – Caoa Montadora

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnologia –INT

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Goiás – UEG

\*E-mail: [eduardo.faria@caoamontadora.com.br](mailto:eduardo.faria@caoamontadora.com.br)