



II CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Análise da Utilização do Óleo Fúsel no Etanol

Luis Henrique Nogueira Marinho

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Franciely Velozo Aragão

Departamento de Engenharia Têxtil – Universidade Federal de Santa Catarina

Fernanda Cavichioli Zola

Departamento de Ciências Humanas - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Daiane Maria de Genaro Chiroli

Departamento de Engenharia Têxtil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sergio Mazurek Tebcherani

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Atualmente, o mercado mundial voltado ao consumo de combustíveis vem buscando fontes renováveis, limpas e com resultado financeiro mais atrativo, no que tange à produção de biocombustíveis. Neste sentido, este estudo teve por objetivo analisar a mistura de etanol combustível com óleo fúsel contendo 14 e 34% de água para verificar o limite máximo da adição no etanol, além de analisar a viabilidade econômica da mistura, a fim de aumentar a rentabilidade deste coproduto. A metodologia utilizada neste estudo foi baseada nas normas vigentes pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e reproduzida em laboratório por meio de ensaios técnicos. O estudo mostrou que até 0,5% do óleo fúsel contendo 34% de água pode ser incorporado ao etanol.

Palavras-chave: Óleo fúsel. Etanol combustível. Cana de açúcar. Setor sucroenergético.

Analysis of the Use of Fusel Oil in Ethanol

Abstract: Currently, the global fuel market has been seeking renewable, clean, and more financially attractive sources for biofuel production. In this context, the objective of this study was to analyze the mixture of fuel ethanol with fusel oil containing 14% and 34% water in order to determine the maximum allowable addition to ethanol, as well as to evaluate the economic feasibility of the mixture, aiming to increase the profitability of this co-product. The methodology applied in this study was based on the current regulations of the National Agency of Petroleum, Natural Gas, and Biofuels (ANP) and reproduced in the laboratory through technical tests. The study showed that up to 0.5% of fusel oil containing 34% water can be incorporated into ethanol.

Keywords: Fúsel oil. Fuel ethanol. Sugar cane. Sugar and energy sector

1 Introdução

Uma grande parte do combustível usado nos veículos motorizados é combustível de origem fóssil. No entanto, combustíveis alternativos vêm sendo estudados como fonte de energia sustentável e renovável, como o etanol combustível, que melhora o processo de

combustão e mitiga as emissões de CO (monóxido de carbono); neste sentido, é uma área de conhecimento em que pesquisas têm crescido de forma substancial (BÔAS *et al.*, 2017; UYUMAZ *et al.*, 2014). Considerando as tendências de consumo de combustível, pode-se dizer que as reservas de petróleo tendem a diminuir ao longo do tempo. Para evitar crises energéticas devido à falta de combustíveis fósseis, são realizadas pesquisas sobre recursos energéticos alternativos (CALAM *et al.*, 2015; LAMMERS *et al.*, 2017) o aproveitamento de coprodutos tem ganhado espaço no setor sucroenergético e destaque no cenário nacional com estudo nas grandes áreas do setor (GUEDES *et al.*, 2010).

Logo, a busca por fontes renováveis limpas e com resultado financeiro, é um assunto muito estudado e fomentado dentro do meio acadêmico e nas organizações. Uma dessas fontes renováveis é o etanol combustível, que ganhou grande destaque no cenário nacional em 1975, com a implantação do Programa Nacional do Alcool – Proálcool, que intensificou a produção de álcool combustível com o objetivo de diminuir a dependência da importação de petróleo (KOHLHEPP, 2010). Desde então, a sua produção vem batendo recordes e colocando em evidência os seus coprodutos: bagaço de cana, palhada, creme de levedura, vinhaça, torta de filtro e óleo fúsel. Dentre eles, o óleo fúsel é um dos coprodutos com maior valor agregado; neste sentido o interesse de valorização do mesmo por parte das empresas vem crescendo (ROCHA; PANDOLFI, 2019; YUSUF; CALDARELLI, 2018). Berger, Krings e Zorn (2010) relatam que entre os coprodutos gerados pela indústria Sucroalcooleira, o óleo fúsel possui grande potencial de reaproveitamento dada sua rica composição em álcoois superiores. Apesar do seu aproveitamento não atuar diretamente na redução do custo final do etanol, sua utilização como insumo em outros ramos industriais, tais como indústria farmacêutica, solventes, indústria de plástico e perfumaria (ésteres) pode representar importante iniciativa para aumentar a eficiência global da produção industrial do etanol.

Demartini (2012), salienta que para a cadeia produtiva do etanol se tornar mais competitiva, é necessário agregar valor aos coprodutos, fazendo com que estes coprodutos sejam matéria-prima de base para outros processos. O óleo de fúsel é um coproduto obtido através da fermentação de produtos agrícolas. Além de ser extraído da cana-de-açúcar, também pode ser extraído de beterraba, grãos, batatas, batata doce, arroz e trigo entre outros (AWAD *et al.*, 2017a). A separação do coproduto óleo fúsel nas destilarias mais antigas era realizada em fração e armazenadas em tanques. Atualmente, existem colunas de retificação automatizadas, que fazem a retirada automática de acordo com a temperatura da coluna ou de forma contínua em volume controlado (GARCIA, 2008).

Urresta (2014) menciona que a mistura óleo fúsel e água forma uma mistura azeotrópica, sendo um dos principais fatores limitantes na desidratação do coproduto o que torna o processo de separação difícil e aumenta o custo. A autora sugere que a agregação do óleo fúsel em qualquer outra substância deve ser realizada em estado bruto, devido ao alto custo de tratamento. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a mistura de etanol combustível com óleo fúsel em duas vertentes: a venda do coproduto puro, e a mistura do óleo fúsel no etanol combustível na planta industrial.

2 Metodologia

Primeiramente foram conduzidos testes experimentais com misturas de etanol hidratado combustível (EHC) e etanol anidro combustível (EAC), misturadas em dois tipos de óleo fúsel variando o percentual de água. As amostras utilizadas: etanol hidratado combustível, etanol anidro combustível e óleo fúsel, foram fornecidos um grupo do setor sucroenergético, situado no noroeste do estado do Paraná, constituída sob as leis brasileiras e cadastrada na ANP conforme Resolução ANP n° 43, de 22 de dezembro de

2009 (ANP, 2009). Os produtos fornecidos e a nomenclatura adotada para utilização nos experimentos foram:

- Etanol Anidro Combustível (EAC);
- Etanol Hidratado Combustível (EHC);
- Óleo Fúsel Bruto retirado da oitava bandeja da coluna de destilação (OF34);
- Óleo Fúsel Bruto retirado da décima quarta bandeja da coluna de destilação (OF14).

Para coleta das amostras de etanol anidro, hidratado e o óleo fúsel foram utilizados reservatórios plásticos constituídos em PEAD graduados com torneira e capacidade de 5 L.

O ponto de retirada da amostra de etanol foi na base de carregamento para produtos comercial com grau alcoólico conforme estabelecido pela legislação em vigor. Já para a retirada do óleo fúsel, foram estabelecidos pontos de amostragem na coluna de destilação industrial.

Para a preparação das misturas de etanol com óleo fúsel bruto, cada amostra de etanol combustível foi aditivada com 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; e 50,0 % (v/v) de óleo fúsel bruto OF34 e óleo fúsel bruto OF14. No quadro 1, apresenta-se como foi trabalhado. As misturas de etanol combustível com óleo fúsel, foram deixadas em repouso à temperatura ambiente pelo período de 7 dias em tubos de ensaio com tampa de rosca de 18 x 180 mm com 30,5mL, sendo observado a cada 24 horas no período matutino o comportamento das misturas.

Para as análises das misturas de etanol anidro e etanol hidratado foram realizados ensaios de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT determinado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de acordo com a legislação em vigor no território nacional.

A acidez total das misturas de etanol e óleo fúsel foi realizada por meio de titulação potenciométrica seguindo a NBR 9866, sendo utilizada uma balança marca Mettler Toledo, modelo AB204-S para pesar os produtos utilizados na preparação dos reagentes e vidrarias volumétrica, tais como proveta e balão de 50mL a 1000mL. Após conclusão do procedimento, utilizou-se a expressão dos resultados apresentado na normativa e obteve-se o resultado das análises em miligramas (mg), por volume de etanol, em litros (L).

Para realizar a determinação da condutividade elétrica nas misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 10547, foi utilizado um condutivímetro de bancada da marca Digimed, modelo DM-32-ET com compensação de temperatura automática definida para 25°C e precisão relativa de 0,05% (f.e) e incerteza de $\pm 1\%$, sendo o resultado da medição de condutividade expresso em microsiemens por metro ($\mu\text{S/m}$). Na mistura foram aguardados 3 minutos após a estabilização da amostra para validação do resultado.

Na determinação de teor alcoólico nas misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 5992, foi utilizado um densímetro para álcool etílico e suas misturas com água com escala de 0,800 – 0,850, com resolução de 0,0005 e certificação de verificação do INMETRO. Para medir a temperatura da mistura, foi utilizado termômetro do tipo 1 – Petróleo e seus derivados e biocombustíveis líquidos, com escala interna de – 10 a + 50°C, com resolução de 0,5°C do tipo de imersão total, sendo o limite de erro: $\pm 0,5$ da marca Inconterm.

Na determinação do potencial hidrogeniônico (pH) da mistura etanol hidratado com óleo fúsel foi utilizado o método potenciométrico descrito na NBR 10891, utilizando medidor de pH da marca digimed, modelo DM-22-ETH, com compensação de temperatura automática definida para 25°C, sendo a resolução de temperatura 0,1°C e precisão relativa 0,01% pH e incerteza de $\pm 0,01$. Na análise, foi utilizado eletrodo combinado de vidro de pH

com sistema de referência prata/cloreto de prata com junção anular fixa. Para mistura de etanol anidro com óleo fúsel.

Para realizar a determinação da massa específica das misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 5992, foi utilizado um densímetro para álcool etílico e suas misturas com água, com escala de 0,800 – 0,850. Para medir a temperatura da mistura, foi utilizado termômetro do tipo 1 – Petróleo e seus derivados e biocombustíveis líquidos, com escala interna de – 10 a + 50°C, com resolução de 0,5°C do tipo de imersão total, sendo o limite de erro: $\pm 0,5$ da marca Inconterm. Nas amostras que ficaram fora da faixa de trabalho do densímetro, foi estimado o valor via cálculo de balanço de massa, tendo em vista que a normativa não permite realizar avaliações fora dessa faixa.

3 Resultados e Discussão

Para facilitar o entendimento das misturas, foi adotada a nomenclatura OF34 para o óleo fúsel retirado da bandeja 08 e OF14 para o óleo fúsel retirado da bandeja 14. O etanol combustível comercial fornecido pela unidade produtora para as análises foi retirado no ponto de carregamento industrial, na área de expedição comercial da unidade. A Tabela 1 apresenta as características do produto fornecido.

Tabela 1 - Caracterização do etanol recebido (padrão)

Parâmetro	Etanol Anidro	Etanol Hidratado
pH	-----	6,92
Teor alcoólico °(INPM) (%m/m)	99,90	92,94
Condutividade ($\mu\text{S/m}$)	22,74	30,37
Acidez Total (mg/L)	6,86	9,69
Massa específica (kg/m^3) 20 °C	789,6	809,9

As misturas de etanol anidro combustível e etanol hidratado combustível com óleo fúsel foram miscíveis e estáveis em todos os percentuais de óleo fúsel testados (0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; e 50,0 % (v/v)), mesmo utilizando óleo fúsel com características de teor de água diferente, denominados como óleo fúsel OF34 e OF14. Durante o processo de avaliação, a única diferença notada nos experimentos foi o tempo de estabilização da mistura OF14 quem, em média, demandava 30 segundos a mais para estabilizar.

A seguir, as Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam imagens das misturas durante o período de avaliação de miscibilidade:

Figura 1 - Etanol anidro com adição de óleo fúsel contendo 34% de água.

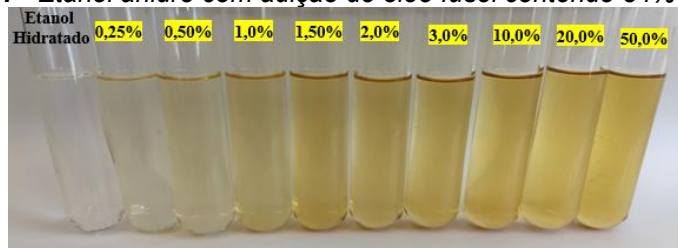


Figura 2 - Etanol anidro com adição de óleo fúsel contendo 14% de água



Figura 3 - Etanol hidratado com adição de óleo fúsel contendo 34% de água

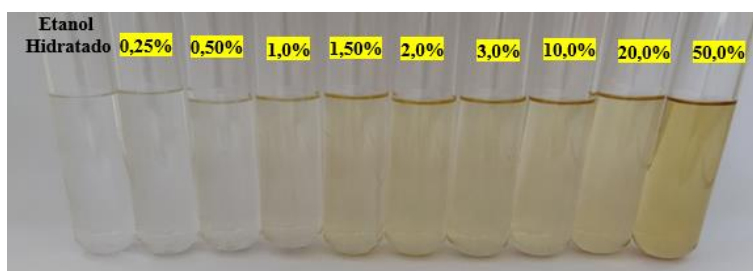
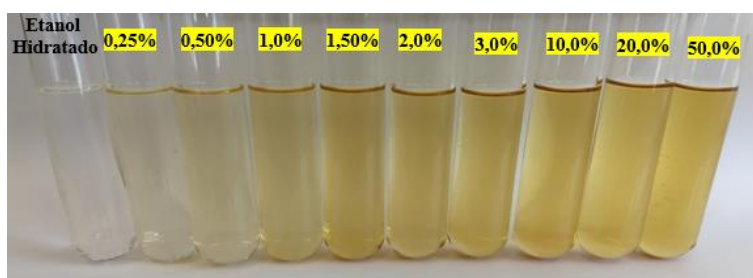


Figura 4 - Etanol hidratado com adição de óleo fúsel contendo 14% de água.



A avaliação de miscibilidade é um dos parâmetros mais importante na mistura de combustíveis; pois, caso a mistura não seja miscível, pode ocorrer dificuldade e até inviabilidade técnica da aplicação do mesmo. Neste estudo, foi considerada a possível aplicação da mistura etanol combustível e óleo fúsel em motores veiculares (Ciclo Otto), tendo resultado promissor na estabilidade da mistura.

Para realizar a avaliação da mistura de etanol anidro com óleo fúsel, foram utilizados dois tipos de matéria prima, denominado OF34 com maior percentual de água (66% óleo fúsel e 34% água) e OF14 com menor percentual de água (86% óleo fúsel e 14 % água). Na tabela 2 são apresentados os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol anidro com óleo fúsel bruto OF34.

Tabela 2 - Avaliação mistura etanol anidro e óleo fúsel contendo 34% água (OF34)

Parâmetros					
Propriedade EAC / Unidade	Acidez total, máx. (mg/L)	Condutividade elétrica (µS/m)	Massa específica a 20°C (kg/m³)	Teor alcoólico (% massa)	
Mistura	Padrão Etanol Anidro	6,86	22,74	789,6	99,90
	0,25 %	11,10	64,27	790,3	99,65
	0,50 %	13,00	57,68	791,1	99,41
	1,00 %	16,55	67,55	792,7	98,90
	1,50 %	17,49	73,58	794,3	98,40
	2,00 %	21,04	82,23	795,9	97,90
	3,00 %	29,04	103,17	799,1	96,90
	10,0%	77,54	3987,56	821,2	89,91
	20,0%	82,14	4587,43	852,8	79,92
	50,0%	91,38	7985,21	946,8	50,23
	Limite ANP	30,0	300,0	791,5 máx.	99,3 mín.

Utilizando-se os mesmos procedimentos, foram realizadas análises alterando o tipo de aditivo, com o objetivo de avaliar o impacto nos parâmetros de qualidade estabelecidos pelo órgão regulamentador. Na tabela 3, estão os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol anidro com óleo fúsel bruto OF14.

Tabela 3 - Avaliação mistura etanol anidro e óleo fúsel contendo 14 % água (OF14).

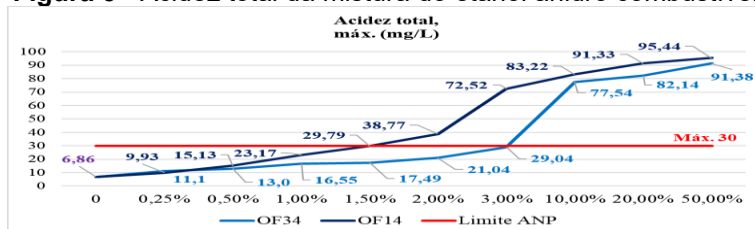
Propriedade EAC / Unidade	Parâmetros			
	Acidez total, máx. (mg/L)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{m}$)	Massa específica a 20°C (kg/m^3)	Teor alcoólico (% massa)
Padrão Etanol Anidro	6,86	22,74	789,6	99,90
0,25 %	9,93	179,04	790,5	99,75
0,50 %	15,13	321,48	791,1	99,53
1,00 %	23,17	597,51	792,0	99,10
1,50 %	29,79	799,56	793,3	98,64
Mistura	2,00 %	38,77	795,7	98,05
	3,00 %	72,52	798,5	97,15
	10,0%	83,22	818,8	91,25
	20,0%	91,33	848,5	80,90
	50,0%	95,44	940,4	51,85
Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	791,5 máx.	99,3 mín.

Pela tabulação dos dados e avaliação dos experimentos, foi possível verificar que, valores acima de 3,0% na mistura de óleo fúsel contendo 34% de água ultrapassa o limite de 30mg/L estabelecido pela ANP, quando utilizado na mistura o óleo fúsel contendo 14% de água o limite permitido pela legislação em vigor decresce para 1,5%, sofrendo maior influência pelo óleo fúsel misturado. No parâmetro condutividade elétrica a mistura do óleo fúsel OF34 permite a adição até 3,0% de modo a atender os parâmetros estabelecidos pela ANP, ao utilizar na mistura o óleo fúsel OF14 maior que 0,25% já existe a inviabilidade para comercialização da mistura, conforme o órgão regulamentador. No parâmetro massa específica em ambos os casos da mistura valores acima de 0,5% de óleo fúsel no etanol anidro ultrapassa o limite de $791,5\text{kg}/\text{m}^3$ valor máximo estabelecido pela ANP. Diferentemente dos parâmetros anteriores o teor alcoólico tem maior interferência com a mistura OF34 devido aos seu maior percentual de água como pode ser observado nas tabelas 4 e 5, no entanto em ambos os casos misturas acima de 0,5% não atendem as diretrizes estabelecidas pelo órgão regulamentador.

A Figura 5 apresenta a variação da acidez total nas misturas de etanol anidro combustível com óleo fúsel bruto OF34 e OF14. Nota-se que neste quesito há uma variação dentro do limite aceitável até 1,5%, na amostra de óleo fúsel bruto OF14, e 3% para óleo fúsel OF34. Acima deste valor, as amostras ultrapassam o valor permitido pela Resolução ANP nº19, conforme estabelecido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e

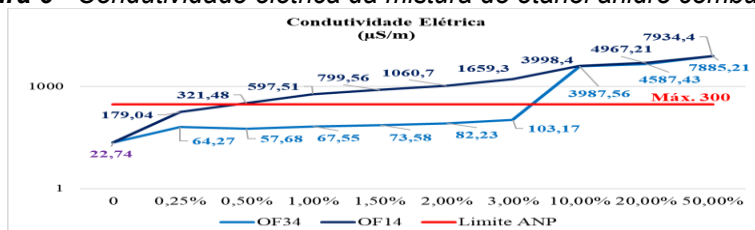
Biocombustíveis. A acidez total é um parâmetro de qualidade que está relacionado ao potencial corrosivo do etanol, o qual afeta a vida útil de veículos automotivos. Por meio de ensaios técnicos, a ANP estabelece como valor máximo para este parâmetro 30mg/L, levando-se em conta que esse é um valor seguro para que o combustível não cause agravamento de corrosão nos veículos automotivos.

Figura 5 - Acidez total da mistura do etanol anidro combustível



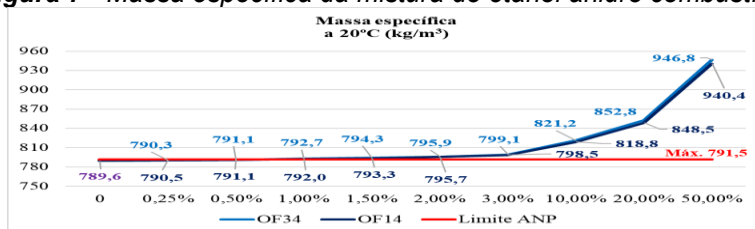
Na figura 6 é possível visualizar a variação da mistura de etanol anidro combustível com óleo fúsel bruto OF34 e OF14 para condutividade elétrica. A mesma mostra que o óleo fúsel bruto com maior concentração de água (OF34) permite mistura de até 3,0%; já o óleo fúsel bruto da amostra OF14 com baixa concentração de água permite que seja adicionado até 0,25%; acima deste volume não é possível atender o parâmetro conforme estabelecido na legislação. A medição da condutividade visa avaliar o potencial corrosivo do combustível, uma vez que está diretamente relacionada à quantidade de íons dissolvidos no etanol, tais como: cloretos, sulfatos, sódio e ferro. Um valor elevado para o parâmetro indica alto potencial de promover a corrosão, prejudicando as linhas de transferência de combustível nos veículos e causando possíveis depósitos no sistema de injeção. O limite imposto pela ANP é de $300\mu\text{S.m}^{-1}$, que visa limitar a quantidade máxima de íons dissolvidos no etanol, garantindo assim um baixo potencial corrosivo para o combustível.

Figura 6 - Condutividade elétrica da mistura do etanol anidro combustível



Já na Figura 7, as amostras apresentam características similares na adição de óleo fúsel bruto OF34 e OF14, o que era esperado, tendo em vista a característica de alta densidade presente no óleo fúsel, sendo permitido pela legislação que seja adicionado em ambos os casos até 0,5%, de modo a não inviabilizar o produto, conforme a legislação em vigor. A massa específica é um dos parâmetros utilizado para ajuste do fator de dirigibilidade de um veículo. No caso específico do etanol, a massa específica está diretamente relacionada ao teor de alcoólico do combustível, ou seja, a quantidade real de etanol presente no álcool combustível. Isso se deve ao fato de haver uma correlação entre a massa específica e o teor alcoólico, o que permite que a determinação deste parâmetro seja feita de modo indireto, utilizando-se os dados medidos de massa específica.

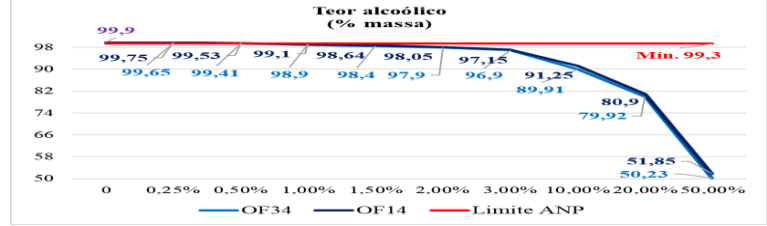
Figura 7 - Massa específica da mistura do etanol anidro combustível



Por fim, a Figura 8 mostra que as misturas de óleo fúsel bruto OF34 e OF14 com até 0,5%, podem ser realizadas de modo a não afetar a qualidade do produto. Valores acima

de 0,5% comprometem a qualidade do produto final, não sendo permitida a comercialização no território nacional.

Figura 8 - Teor alcoólico da mistura do etanol anidro combustível



A condutividade foi a principal variável de restrição nas misturas avaliadas de etanol anidro combustível e óleo fúsel bruto OF34 e OF14; atualmente, a legislação em vigor estabelece como $300\mu\text{S.m}^{-1}$ o valor máximo de condutividade elétrica que o etanol anidro combustível pode chegar para o produto ser comercializado no território nacional. Nota-se que a mistura do óleo fúsel OF34 permite ser realizada até 3,0% com etanol anidro combustível de modo a não impactar a restrição imposta pela legislação. Já a mistura de óleo fúsel bruto OF14 com etanol anidro acima de 0,25% inviabiliza a comercialização do produto. Em contrapartida, o impacto da mistura do óleo fúsel bruto OF34 com etanol anidro acima de 0,50% não é permitida, pois as análises de teor alcoólico e massa específica tem impacto da mistura significativo, de forma a não atender os parâmetros estabelecidos pelo órgão regulamentador, que exige o teor alcoólico mínimo em % de massa de 99,3 (% massa) e massa específica máxima de $791,5\text{kg/m}^3$.

Nas misturas de etanol hidratado com óleo fúsel, foram utilizadas também dois tipos de matérias primas, denominadas OF34 com maior percentual de água (66% óleo fúsel e 34% água) e OF14 com menor percentual de água (86% óleo fúsel e 14% água). Salienta-se que as características químicas do óleo fúsel são as mesmas da mistura anterior, variando apenas o tipo de etanol. A tabela 4 apresenta os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF34:

Tabela 4 - Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF34.

Propriedade EHC / Unidade		Parâmetros				
		Acidez total, máx. / (mg/L)	Condutividade e elétrica (µS/m)	Massa específica a 20°C (kg/m³)	Teor alcoólico (% massa)	pH
Mistura	Padrão Etanol Hidratado	9,69	30,37	809,9	92,94	6,92
	0,25 %	9,90	42,75	810,7	92,72	6,71
	0,50 %	11,11	59,74	811,1	92,50	6,43
	1,00 %	13,47	66,38	811,9	92,20	6,37
	1,50 %	16,78	109,25	813,5	91,62	6,19
	2,00 %	16,95	110,71	814,9	91,13	6,14
	3,00 %	26,00	118,82	817,9	90,18	6,05
	10,0%	41,33	385,21	836,7	83,95	5,92
	20,0%	52,32	464,87	867,1	74,34	5,74
	50,0%	68,02	989,97	948,7	47,23	5,59

Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	805,2 a 811,2	92,5 a 94,6	6,0 a 8,0
------------	-----------	------------	---------------	-------------	-----------

Deste modo, também foram utilizados os mesmos procedimentos realizados nas análises alterando o tipo de aditivo. A tabela 5 apresenta os resultados das amostras proveniente da mistura do etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF14.

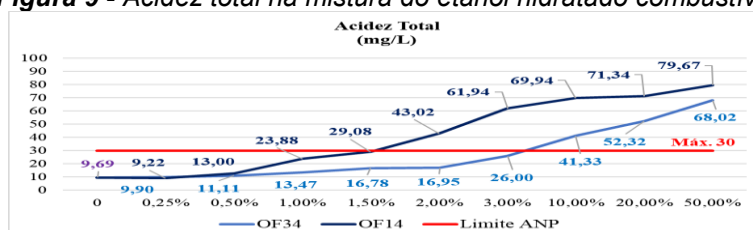
Tabela 5 - Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel OF14

Propriedade EHC / Unidade	Parâmetros					
	Acidez total, máx. / (mg/L)	Condutividade e elétrica (µS/m)	Massa específica a 20°C (kg/m³)	Teor alcoólico (% massa)	pH	
Padrão Etanol Hidratado	9,69	30,37	809,9	92,94	6,92	
Mistura	0,25 %	9,22	226,80	810,3	92,79	6,44
	0,50 %	13,00	379,08	810,9	92,58	6,16
	1,00 %	23,88	666,81	811,6	92,30	5,79
	1,50 %	29,08	1039,68	812,4	91,71	5,68
	2,00 %	43,02	1354,59	813,6	91,25	5,49
	3,00 %	61,94	1911,60	815,7	90,33	5,46
	10,0%	69,94	3654,32	835,5	84,09	5,67
	20,0%	71,34	4165,29	863,6	75,22	5,42
	50,0%	79,67	5871,43	948,3	48,27	5,31
Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	805,2 a 811,2	92,5 a 94,6	6,0 a 8,0	

Nesta etapa da avaliação dos experimentos foi possível verificar que, ao se utilizar o óleo fúsel bruto como aditivo para o etanol hidratado combustível, teve-se impacto direto nas variáveis analisadas. Deste modo, serão descritos de forma individualizada os resultados de cada variável analisada.

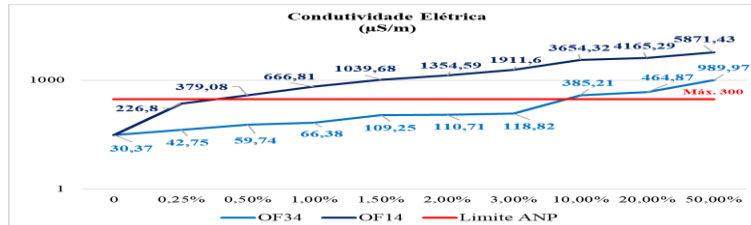
A Figura 9 apresenta a variação da acidez total na mistura de etanol hidratado combustível com óleo fúsel. Nota-se que o óleo fúsel bruto OF34 misturado no etanol hidratado combustível, ultrapassa o limite estabelecido pela legislação na concentração acima de 3%. Já o óleo fúsel bruto OF14 apresenta como faixa limite na concentração de 1,5% sendo utilizados os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, que estabelece como limite máximo de 30mg/L para acidez no etanol hidratado combustível.

Figura 9 - Acidez total na mistura do etanol hidratado combustível



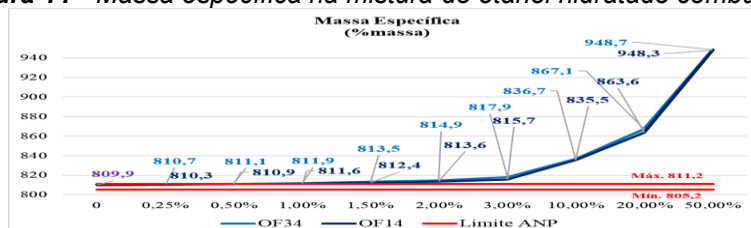
Já a Figura 10, mostra que, em relação à condutividade elétrica, a mistura de óleo fúsel bruto OF34 foi possível realizar até 3% de concentração, e na mistura de óleo fúsel bruto OF14 foi possível adicionar até 0,25% de concentração. Nota-se que esta variável sofre impacto significativo ao realizar a mistura, sendo novamente ponto de restrição no percentual de óleo fúsel bruto acrescido ao etanol hidratado.

Figura 10 - Condutividade elétrica na mistura do etanol hidratado combustível



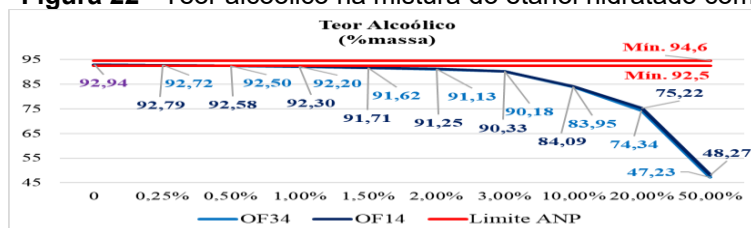
A Figura 11 apresenta que, tanto o óleo fúsel bruto OF34, quanto o óleo fúsel bruto OF14, permitem a adição na concentração de até 0,5%. Acima deste valor, o produto não atende a legislação vigente.

Figura 11 - Massa específica na mistura do etanol hidratado combustível



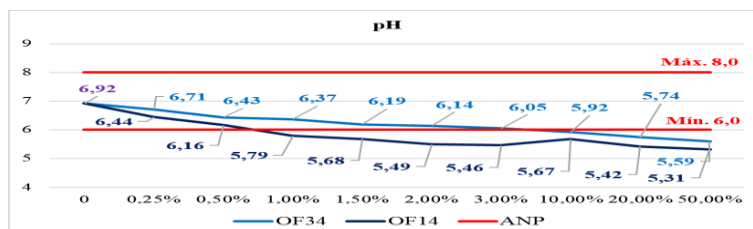
Na Figura 12, as misturas de óleo fúsel bruto OF34 e óleo fúsel bruto OF14 também apresentam limite na concentração de até 0,5%. Acima deste valor, os parâmetros estabelecidos pela legislação não são atendidos.

Figura 22 - Teor alcoólico na mistura do etanol hidratado combustível



Na análise do pH, conforme apresenta a Figura 13, é permitido pela legislação em vigor até 1% para mistura de óleo fúsel bruto OF34 e até 0,5% para óleo fúsel bruto OF14. Salienta-se, que esta variável é exigida pela legislação apenas para etanol hidratado combustível. Deste modo, nas análises de etanol anidro não foi considerada; o pH é um indicador utilizado para mensurar a acidez ou a alcalinidade do etanol. Valores elevados indicam alcalinidade e valores baixos indicam acidez, o valor igual a 7 indica a neutralidade e em ambos extremos podem aumentar a corrosividade no sistema de combustível do veículo. Assim, a faixa de pH estabelecida pela especificação vigente, variando entre 6,0 e 8,0, visa garantir ao consumidor um etanol com baixas acidez e alcalinidade, de forma a proteger os componentes do veículo que possam ser suscetíveis à corrosão.

Figura 33 - pH na mistura do etanol hidratado combustível com óleo fúsel.



Analisando o comportamento das variáveis nas misturas de etanol hidratado combustível e óleo fúsel bruto, foi possível observar que na mistura de óleo fúsel bruto (OF34) a concentração ótima foi de até 0,5%, pois atende todos os parâmetros da legislação vigente. No entanto para mistura de óleo fúsel bruto (OF14) a concentração máxima foi de 0,25%, de modo a atender todos os parâmetros conforme a legislação em vigor.

4 CONCLUSÃO

Nos ensaios realizados com óleo fúsel OF34, a mistura se mostrou viável até o percentual de 0,50%, de modo a atender todas as restrições estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Acima deste percentual, obteve-se como variável crítica o teor alcoólico e a massa específica, pois há impacto direto devido ao teor de água no óleo fúsel utilizado na mistura. Em ambos os tipos de etanol utilizados (anidro e hidratado), o comportamento de variação teve a mesma singularidade.

Nos ensaios com óleo fúsel contendo 14% de água (OF14), a mistura se mostrou viável até o percentual de 0,25% de modo a atender todas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Acima deste percentual, obteve-se como variável crítica a condutividade elétrica da mistura, que está diretamente ligada ao potencial corrosivo do combustível, que pode prejudicar as linhas de transferência de combustível nos veículos, causando possíveis depósitos no sistema de injeção. Sobre os tipos de etanol utilizados (anidro e hidratado), em ambos os casos, o comportamento de variação teve a mesma singularidade devido ao óleo fúsel concentrado.

A utilização do óleo fúsel como aditivo no etanol combustível, mostra-se promissora e uma ótima forma de agregar valor ao coproduto, pois, incorporando-o ao etanol combustível em pequenas proporções, é possível realizar a comercialização do mesmo de forma que atenda a legislação em vigor.

REFERÊNCIAS

- AWAD, O. I. *et al.* Calorific value enhancement of fúsel oil by moisture removal and its effect on the performance and combustion of a spark ignition engine. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 137, p. 86-96, 2017a.
- BERGER, R. G.; KRINGS, U.; ZORN, H. Biotechnological flavour generation. *In*: TAYLOR, A. J.; LINFORTH, R. S. T. (ed.). **Food flavour technology**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. p. 89-115.
- BÔAS, R. N. V. *et al.* Enzymatic synthesis of isopentyl caprylate using fúsel oil as feedstock. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 5, p. 541-547, 2017.
- CALAM, A. *et al.* Investigation of usability of the fúsel oil in a single cylinder spark ignition engine. **Journal of the Energy Institute**, Oxford, v. 88, n. 3, p. 258-265, 2015.
- DEMARTINI, F. J. **Agregação de valor a subprodutos da produção de etanol**: uma proposta de modelo de centro tecnológico para o Rio Grande do Sul. 2012. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

GARCIA, V. **Subproduto de destilaria de óleo fúsel**: caracterização da composição química e estudo de sua aplicação industrial. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia de Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2008.

GUEDES, Carmen Luisa Barbosa *et al.* Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LAMMERS, P. J. *et al.* Review of the cultivation program within the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts. **Algal Research**, Amsterdam, v. 22, p. 166-186, 2017.

ROCHA, R. L.; PANDOLFI, M. A. C. Geração de resíduos no setor sucroalcooleiro. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 16, n. 1, p. 384-392, 2019.

URRESTA, J. D. Deshidratacion de los alcoholes presentes en el aceite fúsel y su conversión en alquenos empleando una zeolita tipo HZSM-5. **Ingeniería y Competitividad**, Cali, v. 16, n. 2, p. 79-90, 2014.

UYUMAZ, A. *et al.* Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 128, p. 158-165, 2014.

YUSUF, K. A.; CALDARELLI, C. E. Novos desafios para a agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 55, 2018.