

RESULTADO DOS TESTES DE B20 DE ÓLEO DE PALMA EM LOCOMOTIVAS

RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE ACEITE DE PALMA B20 EN LOCOMOTORAS

RESULT OF B20 PALM OIL TESTS IN LOCOMOTIVES

Aurélio Lamare Soares Murta*

rev.tema@gmail.com

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas**

mfreitas@ivig.coppe.ufrj.br

Maria da Penha Araujo Murta***

penha.murta@yahoo.com.br

*Universidade Federal Fluminense - UFF

**Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

***Universidade Veiga de Almeida - UVA

Resumo

Os biocombustíveis identificados como os mais apropriados para uso nos motores de combustão interna existentes são o bioetanol como substituto da gasolina em motores ciclo Otto e o biodiesel, para uso em motores ciclo Diesel. Para tanto, é necessário o plantio de cultivos energéticos de alto rendimento e de eficiência fotossintética em grandes extensões de terra. Os dois cultivos mais eficientes que existem são a cana-de-açúcar (bioetanol) e o dendê (biodiesel), com balanços energéticos elevados e alta capacidade de redução de gases de efeito estufa, devido à grande produção de biomassa. Este estudo procura mostrar as várias vantagens econômicas, sociais e ambientais do cultivo de dendê em relação a outras oleaginosas. A pesquisa também descreve um projeto pioneiro no uso de biodiesel de dendê (B20) em locomotivas ferroviárias de transporte de minério e os resultados da análise de desempenho do B20 em comparação ao diesel mineral. Os resultados, bastante positivos, promoveram significativa alteração na matriz de combustíveis da empresa, que passou a utilizar o B20 em parte da sua frota de forma regular.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis. Óleo de Palma. Locomotivas.

Resumen

Los biocombustibles identificados como los más adecuados para su uso en los motores de combustión interna existentes son el bioetanol como sustituto de la gasolina en los motores de ciclo Otto y el biodiésel, para su uso en motores de ciclo Diesel. Por tanto, es necesario plantar cultivos energéticos de alto rendimiento y eficiencia fotosintética en grandes extensiones de terreno. Los dos cultivos más eficientes que existen son caña de azúcar (bioetanol) y la palma aceitera (biodiesel), con altos balances energéticos y alta capacidad para reducir gases de efecto invernadero, debido a la gran producción de biomasa. Este estudio busca mostrar las diversas ventajas económicas, sociales y ambientales del cultivo de palma aceitera sobre otras semillas oleaginosas. La investigación también describe un proyecto pionero en el uso de biodiésel de palma aceitera (B20) en locomotoras de transporte de mineral por ferrocarril y los resultados del análisis del rendimiento del B20 en comparación con el diésel mineral. Los muy positivos resultados propiciaron un cambio significativo en la matriz de combustible de la compañía, que empezó a utilizar el B20 en parte de su flota de forma habitual.

PALABRAS CLAVE: Biocombustibles. Aceite de palma. Locomotoras.

Abstract

Biofuels identified as the most suitable for use in existing internal combustion engines are bioethanol as a substitute for gasoline in Otto cycle engines and biodiesel, for use in diesel cycle engines. Therefore, it is necessary to plant energy crops of high yield and photosynthetic efficiency in large tracts of land. The two most efficient crops that exist are sugarcane (bioethanol) and oil palm (biodiesel), with high energy balances and high capacity to reduce greenhouse gases, due to the large production of biomass. This Study Seeks To show the various economic, social and environmental advantages of oil palm cultivation over other oilseeds. The research describes a pioneering project in the use of oil palm biodiesel (B20) in railway ore transport locomotives and the results of the analysis of the performance of B20 compared to mineral diesel. The very positive results promoted a significant change in the company's fuel matrix, which started using the B20 in part of its fleet on a regular basis.

KEYWORDS: Biofuels. Palm oil. Locomotives.

1. Introdução

Com a perspectiva do fim dos baixos preços do petróleo, inúmeros países estão recorrendo aos biocombustíveis como instrumentos importantes na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de atender as questões ligadas à segurança energética e estímulos econômicos ao setor agrícola. No processo de fotossíntese, os biocombustíveis agem como filtros naturais de CO₂, transformando energia solar em energia química. Os biocombustíveis identificados como os mais apropriados para uso nos motores de combustão interna existentes são o bioetanol, como substituto da gasolina em motores ciclo Otto e o biodiesel, para uso em motores ciclo Diesel.

Para que os biocombustíveis possam substituir significativamente os combustíveis fósseis líquidos, é necessário o plantio de cultivos energéticos em grandes extensões de terra. Assim, para minimizar a concorrência com o cultivo de alimentos, é importante selecionar cultivos energéticos de alto rendimento, com maior eficiência fotossintética. Os dois cultivos mais eficientes que existem são a cana-de-açúcar (bioetanol) e o dendê (biodiesel), com balanços energéticos elevados e alta capacidade de redução de GEE, devido à grande produção de biomassa.

Na década de 1970, o Brasil criou o maior programa mundial de biocombustíveis no mundo, o Proálcool, com a produção de etanol da cana-de-açúcar para veículos com motor ciclo Otto. Isto é um reflexo das imensas vantagens comparativas do Brasil, que possui uma maior área apropriada e disponível para cultivos, inclusive energéticos, em relação a outros países. Diversos governos (EUA, UE, China, Índia, entre outros) estão montando programas de produção de biocombustíveis, tendo como referência, o exemplo pioneiro do Brasil.

Por outro lado, no que tange a produção de biodiesel, o Brasil ainda não realizou um programa comparável ao Proálcool. Para incentivar o cultivo de espécies oleaginosas para tal finalidade, o governo federal criou o Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB). A mistura de biodiesel ao diesel fóssil teve início em dezembro de 2004, em caráter autorizativo. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual continuou a ser sucessivamente ampliado pelo CNPE até o percentual de 7,0% em 2014 e com previsão de que alcance 9% até março de 2018 (ANP, 2017a).

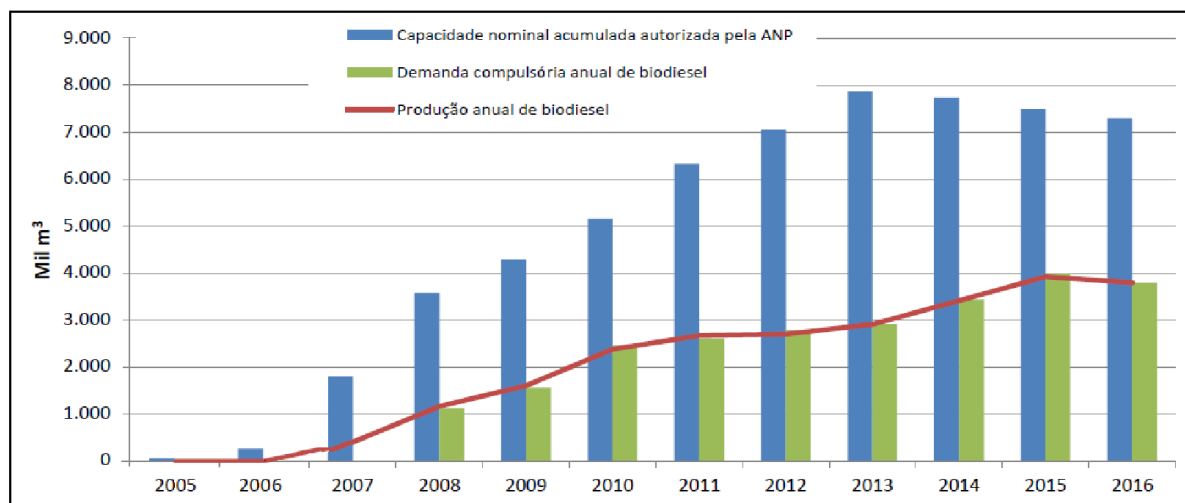
Regularmente, o biodiesel é vendido misturado ao diesel de petróleo em mais de 30 mil postos de abastecimento espalhados pelo país. Com relação à produção desse tipo de biocombustível, saltou de 69 milhões de litros em 2006 para 2,7 bilhões de litros em 2012 e 3,8 bilhões em 2016 (ANP, 2018a), o que exige o plantio de extensas áreas exclusivas para o plantio de oleaginosas. A forte demanda externa por biodiesel que se projeta irá pressionar ainda mais os ecossistemas brasileiros, daí a necessidade de se investir em cultivos com maiores rendimentos.

Destaca-se também a evolução da capacidade industrial de produção de biodiesel. Atualmente, existem 51 unidades autorizadas a produzir e a comercializar o biocombustível, com uma capacidade nominal total de 22.066,81 m³/dia. Há ainda permissão para construção de duas novas plantas de biodiesel e duas outras plantas de biodiesel autorizadas a aumentarem a sua capacidade de produção. Com a finalização das obras e posterior autorização para operação, a capacidade total de produção de biodiesel poderá aumentar em 2.225 m³/dia, o que representa um acréscimo de 10,08% na capacidade atual (ANP, 2018b).

A participação de pequenos agricultores também é relevante. Dessa capacidade industrial, cerca de 78% são provenientes de usinas detentoras do Selo Combustível Social, um certificado fornecido pelo governo às unidades produtoras que atendem aos requisitos de inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel (ANP, 2013).

Desde o lançamento do PNPB até o final de 2017, o Brasil produziu mais de 10 bilhões de litros de biodiesel, reduziram as importações de diesel e contribuindo positivamente para a Balança Comercial brasileira. O gráfico 1 a seguir mostra a capacidade de produção, a demanda compulsória e a produção efetiva de biodiesel no Brasil.

Gráfico 1. Capacidade, Demanda e Produção Efetiva de Biodiesel

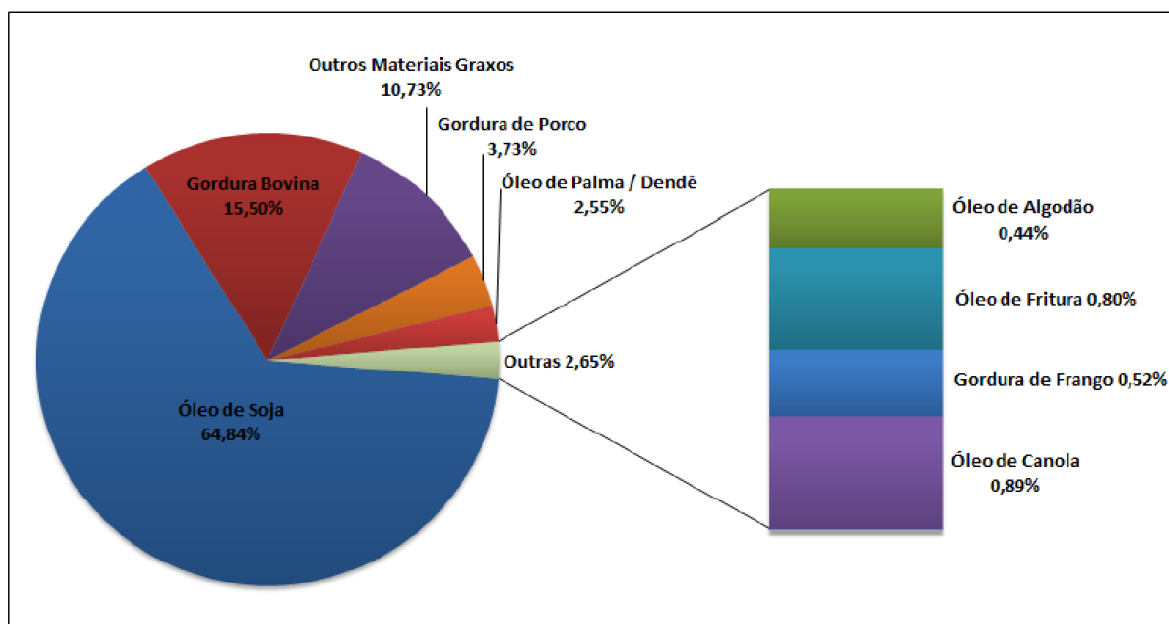


Fonte: Adaptado de ANP, 2013 e 2017b

Era inexpressiva a participação no cenário mundial de produção de óleo de dendê, com apenas 0,6% da produção mundial até 2011 (16,5 mil toneladas), quando então o governo impulsionou a expansão do setor. Como o Brasil dispunha do maior potencial de expansão da cultura no planeta, em particular na Amazônia, onde existem milhões de hectares de áreas desmatadas e/ou degradadas aptas, para o cultivo de tal oleaginosa (MMA, 2013), a área de plantio cresceu, sendo 85% no Pará. A produção de óleo deve chegar ao final de 2018 a quase meio milhão de toneladas, mas ainda sem atender à demanda interna dos setores alimentício e de cosmético.

De modo que atualmente a matriz de insumos para a produção de biodiesel no Brasil está fortemente concentrada na soja e sebo bovino, conforme mostra o gráfico 2 a seguir, o que demonstra a necessidade de maior diversificação das matérias primas a serem utilizadas para esta finalidade.

Gráfico 2. Distribuição de Matérias Primas para Produção de Biodiesel



Fonte: ANP, 2017b

A primeira parte deste estudo procura mostrar as várias vantagens comparativas do cultivo de dendê em relação ao de outras oleaginosas no que diz respeito ao atendimento à demanda interna e externa projetada de biodiesel. As vantagens econômicas, sociais e ambientais de seu plantio em áreas degradadas da Amazônia, comparado a outros usos da terra (agricultura de subsistência, pecuária, plantio de soja, etc.) são muito numerosas para serem detalhadas neste estudo, sendo aqui apenas mencionadas superficialmente.

A segunda parte descreve um projeto pioneiro no uso de biodiesel de dendê (B20) em locomotivas ferroviárias de transporte de minério, entre Janeiro e Dezembro de 2006, e os resultados da análise de desempenho do B20 em comparação ao diesel mineral. Todos os estudos foram realizados em parceria com uma equipe de pesquisadores da Coordenação de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Climáticas Globais (IVIG). Os resultados foram bastante positivos, o que promoveu uma alteração na matriz de combustíveis da empresa, passando esta então a utilizar o B20 em parte da sua frota de forma regular a partir de 2007

2. Fundamentação teórica

2.1. As Vantagens Comparativas do Cultivo de Dendê para a Produção de Biodiesel

No atual contexto de insegurança energética e de crescentes constrangimentos ambientais à produção e consumo de petróleo e derivados, os biocombustíveis líquidos, produzidos a partir de biomassa, tem

ganhado destaque em todo o mundo como uma alternativa ambiental, técnica e economicamente viável como complemento aos combustíveis fósseis, em particular no setor de transportes.

A principal fonte de energia renovável disponível, a radiação solar, pode ser aproveitada tanto diretamente, em coletores solares ou células fotovoltaicas, quanto indiretamente, sob a forma de energia “verde”, que, através da fotossíntese, converte energia luminosa em energia química, armazenada em vegetais (DEFANTI et al., 2010). Pode então produzir-se o etanol, combustível que se mostra como a principal alternativa à gasolina em motores de ciclo Otto a partir de plantas ricas em açúcar ou amido, como a cana-de-açúcar, mandioca e cereais, ou mesmo a partir de resíduos de biomassa em geral.

No atual estágio tecnológico, o biocombustível preferencial para funcionamento em motores de ciclo Diesel é o chamado biodiesel, um éster metílico ou etílico de ácidos graxos, proveniente de oleaginosas, como a palma (dendê), soja, colza, mamona, etc. Enquanto os óleos vegetais (*in natura*) possuem viscosidade muito acentuada, o biodiesel possui propriedades muito próximas ao diesel mineral, podendo, em geral, ser usado em motores Diesel sem necessidade de alterações ou, quando necessários, apenas pequenos ajustes.

Devido às vantagens, principalmente ambientais, que os biocombustíveis proporcionam, existem projeções da Agência Internacional de Energia (IEA, 2004) de um aumento substancial no uso destes no setor de transportes, de 15,5 Mtoe (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) em 2004, para 146,7 Mtoe em 2030, quando então os biocombustíveis deverão ter uma participação de 6,8% do total da energia usada no referido setor.

A mesma agência projeta que a expansão na produção de biocombustíveis líquidos mostra que o deslocamento de 10% da gasolina e diesel em 2020 irá requerer 43% da área cultivada nos EUA e 38% na EU, isso assumindo que a produção de etanol nos EUA seja a base de milho e de beterraba e trigo na UE e que o biodiesel seja oriundo da soja nos EUA e da colza e do girassol na UE.

Logo, à parte da viabilidade econômica de se produzir biocombustíveis nos territórios destes que são os principais mercados mundiais de combustíveis líquidos, fica a pergunta: onde é possível a expansão do plantio de agroenergéticos de forma a atender a explosiva demanda projetada de biocombustíveis, sem comprometer o plantio para fins de alimentação? “Uma alternativa ora em franco processo de pesquisa, principalmente nos países desenvolvidos, é o desenvolvimento dos chamados biocombustíveis de 2ª geração, como o etanol celulósico e o *synfuel*, este último um biocombustível sintético obtido a partir da gaseificação de biomassa” (VILLELA, 2009, p. 2).

O etanol celulósico é obtido através da quebra da celulose e hemicelulose, presente em grandes quantidades em quase toda biomassa vegetal. Assim, podem-se usar resíduos agrícolas e de atividade madeireira, o que potencialmente diminuirá os conflitos entre uso da terra para alimentos vs. combustíveis. A tecnologia de gaseificação também tem a propriedade de aproveitar praticamente toda a biomassa (ao invés de apenas carboidratos no caso de etanol ou óleos para biodiesel). No entanto, estas tecnologias ainda estão longe de se mostrarem economicamente competitivas frente a alguns biocombustíveis de 1ª geração.

O dendê (palma) e a cana-de-açúcar são os dois cultivos com maior energia embutida que se conhece, dada a uma eficiência fotossintética (capacidade de conversão de energia solar em energia química das moléculas que constituem a biomassa) superior destas plantas. Em função disso, ambas demandam muita insolação e grande quantidade de água, embora com regimes distintos. Assim, os países localizados em regiões tropicais, onde a incidência de energia solar é maior, possuem uma vantagem comparativa imbatível; por sinal, é a única faixa de terra onde a cana-de-açúcar e o dendê são passíveis de serem plantados, daí a busca pelos países desenvolvidos (situados em regiões temperadas) em desenvolver técnicas de 2ª geração de biocombustíveis.

No processo de elaboração do PNPB, a EMBRAPA (2003) identificou as oleaginosas mais apropriadas no território nacional para a produção de biodiesel, conforme a vocação natural de cada região do país: a soja no Sul, Sudeste e Centro-Oeste; a mamona no Nordeste; o dendê (ou palma) no Norte (região amazônica); o girassol no Sudeste e o algodão no Centro-Oeste. Segundo a Associação Brasileira de Óleos Vegetais (2017), o predomínio da soja no país se mantém. O grão é um dos principais itens da Balança Comercial Brasileira e exportou US\$ 25,4 bilhões em 2016. Fazendo o país ser responsável por 32% da produção mundial de soja, o 2º maior produtor e exportador mundial.

2.2. O Sistema de Transporte Ferroviário Brasileiro

Os transportes respondem por cerca de 80% do consumo de óleo diesel, principal derivado de petróleo importado pelo Brasil. Deste percentual, 90% se destinam exclusivamente para o modo rodoviário de cargas e passageiros (MME, 2006); por outro lado, no mesmo período, o modal ferroviário foi responsável por cerca de 1,8% do consumo de diesel.

Atualmente, a malha ferroviária brasileira em operação apresenta 29.817 km de extensão, sendo quase a totalidade (28.066 km) operada por empresas privadas, por meio de onze concessões (CNT, 2017). Sua principal característica, dos pontos de vista histórico, econômico e geográfico, é a interligação de áreas de produção agrícola e de exploração mineral do interior do País com os portos, utilizados para a exportação de mercadorias.

As maiores concentrações de vias férreas nacionais estão situadas nos Estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Além disso, segundo a ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres, o material rodante brasileiro, constituído de equipamentos para a formação das composições ferroviárias, contabilizava ao final de 2009 um total de 92.890 vagões de carga e 2.876 locomotivas. Atualmente o sistema ferroviário nacional participa com cerca de 21,0% da matriz de transporte de cargas no Brasil. Essa participação representou 243,4 bilhões de TKU em 2011, com 395,5 milhões de TU transportadas (ANTT, 2015).

Vários investimentos estão sendo realizados no setor de transportes no Brasil no intuito de promover um maior equilíbrio na matriz de transportes, visto que cerca de 62% das cargas transportadas utilizam o sistema rodoviário para esta finalidade, o que correspondeu a 420,6 bilhões de toneladas-quilômetro (TKM) em 2009, com a movimentação de 1,1 bilhão de toneladas de cargas por rodovias.

3. Metodologia

3.1. Testes do Biodiesel (B20) em Locomotivas

Constituída em 1942, a Vale S. A., antiga Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), é a segunda maior mineradora do mundo e gestora da maior malha ferroviária nacional. Vale S.A. conta com 900 locomotivas que consomem, anualmente, cerca de 490 milhões de litros de diesel em suas três ferrovias.

Em 2005, a Vale celebrou um contrato com a COPPE/UFRJ, com o objetivo de desenvolver um estudo de viabilidade técnico-econômica sobre a utilização do biodiesel de óleo de palma como opção para a substituição de parte do combustível consumido pela CVRD, no transporte ferroviário de cargas.

Os objetivos específicos iniciais da pesquisa seguiram as seguintes atividades:

- Análises laboratoriais do óleo utilizado no teste, biodiesel puro (B100), diesel de petróleo puro e na mistura de 20% de biodiesel com 80% de diesel petróleo (B20);

- Monitoramento dos impactos do uso do combustível (B20) na potência, eficiência energética, na manutenção das locomotivas (bancada e campo) e na durabilidade de equipamentos representativos da frota;
- Monitoramento das emissões de poluentes atmosféricos decorrentes do uso de biodiesel (B20) em locomotivas (bancada).

Para a realização dos testes, foram disponibilizadas duas locomotivas GE Dash 9W, sendo a primeira abastecida com óleo diesel de petróleo (locomotiva de controle ou referência) e a segunda abastecida com biodiesel de óleo de palma a 20% (locomotiva de teste). Estas locomotivas foram designadas a rodarem na Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), sempre sob as mesmas condições de operação e, para tanto, tiveram que ser acopladas com o cabo jumper, de modo a garantir o mesmo esforço de tração em ambas.

O biodiesel é um combustível novo, ainda não testado e nem autorizado pela Agência Nacional do Petróleo – ANP na mistura B20. Não era possível, no entanto, prever que tipos de problemas poderiam advir, em longo prazo, do uso de misturas contendo 20% de biodiesel, como foi o caso do teste em questão. Tendo em vista a instabilidade térmica do biodiesel para temperaturas superiores a 40°C, seus problemas de oxidação devido às suas duplas ligações (insaturação) e o fato do biodiesel aumentar os resíduos de carbono, o que poderia provocar o entupimento do bico injetor do conjunto motor da locomotiva. Deste modo, a COPPE/UFRJ sugeriu a condução de estudos técnico-científicos para avaliar qual o teor máximo de biodiesel na mistura, de modo a garantir a segurança e a qualidade do combustível final a ser usado. Vale ressaltar que o uso de biodiesel oriundo de diferentes óleos vegetais implica no estabelecimento de diferentes teores máximos de biodiesel na mistura, devido às características intrínsecas de cada insumo. Em particular, o baixo ponto de fluidez característico do biodiesel de dendê (produzido pela Agropalma, o fornecedor de biodiesel escolhido para o projeto) foi também objeto de estudo.

De modo a garantir a qualidade do combustível utilizado, a COPPE/UFRJ realizou, em parceria com o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), os ensaios especificados pela ANP, em amostras de B100, petrodiesel e a mistura petrodiesel/biodiesel (B20).

O teste de emissões foi realizado em bancada, pois essas medidas só poderiam ser realizadas no dinamômetro, com o auxílio de equipamentos apropriados e operadores treinados para o teste. No campo, as potências desenvolvidas pela locomotiva variam a todo instante, bem como suas emissões. Os testes foram realizados seguindo as normas técnicas vigentes, adaptadas quando necessário, às especificidades do combustível a ser testado. Uma das locomotivas selecionadas (GE DASH 9W – 1149) foi submetida ao teste de carga para avaliação de desempenho e emissões com Diesel e mistura BX. Para esta locomotiva, foi utilizado o programa de AUTO-CARGA do próprio fabricante, sendo os valores de corrente e tensão adquiridos do software residente; os demais parâmetros, monitorados através dos seguintes equipamentos:

- Analisador de Gases PC-MULTIGÁS (O₂, CO, CO₂, HC, SO_x e NO_x);
- Analisador de Opacidade NA 9020P (% particulados);
- Filtro especial para motores Diesel (protege os sensores do PC-Multigás);
- Medidor vazão RCDLM25 + PHI (Consumo de combustível).
- Analisador de Gases ECIL (Universidade Federal de Itajubá).

Os conjuntos de medição de consumo instalados para o teste de carga permaneceram nas locomotivas para a realização dos testes de consumo e durabilidade. O par testado seguiu acoplado durante todo o teste de durabilidade, mantendo-se o abastecimento diferenciado (Diesel x B-20). Ao final, foram realizados novos testes de desempenho e emissões, seguidos de inspeção com boroscópio para avaliação final.

Os testes de campo foram realizados entre 23/06/06 e 31/12/06 e os dois testes de bancada em Junho/06 e Novembro/06. Durante os testes, as locomotivas rodaram em média 119.000 km cada, consumiram juntas cerca de 1.700.000 litros de óleo diesel e 119.000 litros de biodiesel e transportaram aproximadamente 1.800.000 toneladas úteis de minério. Os resultados principais seguem abaixo:

A - Análises laboratoriais dos ensaios realizados nas amostras de biodiesel e diesel coletadas em Tubarão e em Nova Era/MG:

Para os testes, foram produzidas oito bateladas de biodiesel entregues em Tubarão e quatro em Nova Era. A cada batelada de biodiesel, foram retiradas amostras de biodiesel puro (B100) do caminhão tanque e do Diesel existente nos tanques das Estações de abastecimento. As amostras eram então transportadas para os laboratórios da COPPE/UFRJ e do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), onde foram misturadas de modo a obter também amostras de B20. A partir daí, foram realizadas análises do Diesel, B100 e B20.

A.1 - Diesel

Todas as amostras de Diesel coletadas nas Estações de Tubarão e Nova Era apresentaram resultados em conformidade com os valores estabelecidos na Resolução ANP nº 15 de 17/7/2006 para óleo Diesel e misturas óleo Diesel/biodiesel – B2 de uso rodoviário.

A.2 - B100

Os resultados obtidos nas determinações efetuadas foram comparados com os respectivos limites estabelecidos na especificação para biodiesel B100, Resolução ANP nº. 42, de 24/11/2004. Verificou-se que os principais problemas são relativos à acidez e à presença de glicerina livre. Todos os ensaios cujos valores achavam-se fora de especificação foram ratificados por meio da execução dos mesmos ensaios pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Assim, no B100, os principais pontos analisados foram: a acidez, o teor de glicerina livre e como veremos a seguir, o elevado ponto de fluidez do biodiesel de palma, embora a especificação do B100 diga respeito apenas ao seu ponto de entupimento.

A.2.1 - Índice de acidez

Segundo a Resolução ANP nº42/2004, o Índice de Acidez, medido pelo ensaio ASTM D-664, deve apresentar um valor máximo de 0,80 mg KOH/g de modo a que seja evitada a corrosão em diversas partes do motor, diminuindo sua vida útil. As amostras de B100 coletadas em Nova Era não apresentaram problemas quanto ao Índice de Acidez, mas os resultados do Biodiesel (B100) recebidos em Tubarão, mostraram que seis das oito amostras ali coletadas encontravam-se fora de especificação quanto a esta propriedade. Esse desvio foi confirmado pelo INT e a diferença entre os valores obtidos em ambos os laboratórios está dentro do limite de reprodutibilidade permitido pelo respectivo método ASTM.

Esta alteração no valor da acidez é, provavelmente, uma característica intrínseca ao processo industrial de produção realizado pela Agropalma, em que o biodiesel é obtido a partir de ácidos graxos residuais do refino do óleo de palma submetidos à esterificação.

Como existia dúvida se a acidez do biodiesel poderia ter sofrido alteração entre a amostragem e a realização do ensaio, uma alíquota da amostra de Tubarão 1 foi mantida sem refrigeração desde a sua retirada e o índice de acidez medido novamente com um intervalo de 30 dias. Nenhuma alteração significativa no valor do índice de acidez foi verificada, pois a diferença entre o valor anterior (1,078) e o atual (1,164) situou-se dentro da repetibilidade do método. Isto indica que não houve modificação dessa propriedade no período do transporte do Biodiesel até Vitória ou durante o transporte até o Rio de Janeiro.

Foi ainda realizado um estudo para verificação da variação da acidez do biodiesel de palma com a temperatura, simulando as condições de transporte desde o produtor até o seu recebimento pela CVRD. O ensaio foi realizado submetendo-se as amostras de B100 a temperaturas entre 40 e 50°C durante uma semana, prazo superior ao do transporte. Os testes foram realizados nas amostras de biodiesel Tubarão 1 e Tubarão 4 e não houve variação na acidez. Deste modo, pode-se afirmar que a acidez não se modificou durante o transporte, de modo a fazer que o referido biodiesel se tornasse fora de especificação.

A.2.2 - Glicerina Livre

O teor máximo de glicerina livre no biodiesel B100 deve ser de 0,02 % (massa), porém as amostras Tubarão 2, Tubarão 5 e Nova Era 3 apresentaram percentuais mais elevados de glicerina livre e de glicerina total. Estes valores fora de especificação são, contudo, questionáveis devido à possível não aplicabilidade do ensaio de determinação de glicerina livre e total ao biodiesel obtido por processo de fabricação por esterificação do óleo de palma, o qual dificilmente poderia formar glicerina livre.

A.3 - Misturas Diesel/Biodiesel

Todas as amostras de misturas B20 (sintetizadas em laboratório) apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos na especificação Resolução ANP nº15/2006 para Diesel e misturas óleo diesel/biodiesel, B2.

No que se refere à análise do Diesel e sua mistura B20, ressalta-se que a adição de biodiesel proporciona uma redução nos valores de enxofre, o que deverá causar um menor nível de emissão de SO_x, sem perda de lubrificidade, uma vez que a viscosidade aumentou com a adição de biodiesel. O aumento do número de cetano foi outro ponto positivo na adição de biodiesel, melhorando o desempenho do motor. Esse aumento de cetano acontece para biodiesel proveniente de alguns tipos de oleaginosas, inclusive o de palma.

Como aspectos negativos, podemos citar uma diminuição do poder calorífico superior (2,5%) e o aumento do resíduo de carbono, que indica que aumentarão os depósitos nos motores. Uma redução no poder calorífico superior se traduziu em um aumento equivalente no consumo de combustível.

A.4 - Teor de biodiesel na mistura

Desde o início das operações houve dificuldade em garantir se a mistura Diesel/biodiesel apresentava uma concentração constante e de 20%, uma vez que a mistura não era previamente realizada em um tanque de armazenamento. Para verificar a constância da mistura, a COPPE desenvolveu um método utilizando a técnica de infravermelho em que é possível detectar o teor de biodiesel na mistura. O

biodiesel apresenta carbonila (C=O) no infravermelho, que é inexistente no Diesel, o qual possui apenas grupamentos CH.

Algumas amostras coletadas tanto em Tubarão quanto em Nova Era mostraram altos percentuais de biodiesel, com pico de 28% na primeira estação e 36% na segunda. Após investigação, percebeu-se que em Tubarão havia problemas com a bomba de diesel, devidamente substituída, e em Nova Era havia a falta de um agitador que garantisse homogeneização da mistura. Neste caso, como os volumes de diesel e biodiesel colocados dentro do vagão são proporcionais ao B20, só uma mistura incompleta poderia gerar amostras com valores diferentes de 20%. A hipótese mais provável é que tendo sido colocado primeiramente o biodiesel, que é ligeiramente mais denso que o Diesel, tenha se formado uma mistura mais concentrada em biodiesel na parte inferior do tanque por onde é realizada a coleta. Após as devidas recomendações, observou-se uma maior homogeneidade da mistura, o que se traduziu em confiabilidade dos testes e menores riscos ao funcionamento da locomotiva.

A.5 - Contaminação do óleo lubrificante

Além das características do combustível é também importante dar especial atenção à possível contaminação do óleo lubrificante pelo biodiesel. Como o diesel tem seu ponto inicial de destilação bem abaixo do biodiesel, ele vaporiza muito mais facilmente que a mistura B20. Os compostos presentes no biodiesel que porventura permaneçam sem volatilizar podem se solubilizar no lubrificante, modificar suas propriedades e prejudicar sua atuação. Assim, é preciso coletar o lubrificante e submetê-lo a avaliações específicas para determinação de contaminação pelo biodiesel. As consequências dessa contaminação na função de lubrificação não são ainda conhecidas, mas caso a mesma se verificasse, seria necessária uma troca mais assídua do óleo lubrificante. As amostras coletadas e estudadas no infravermelho pela equipe não apresentaram vestígios de contaminação.

A.6 - Ponto de entupimento

Em todas as amostras, o ponto de entupimento da mistura com o diesel (B20) situou-se dentro dos limites especificados pela ANP para a região. Deste modo, não haverá problemas na utilização da mistura B20, mesmo nos meses mais frios do ano na região de Nova Era. Contudo, o ponto de fluidez do biodiesel puro (B100) obtido para o biodiesel de palma produzido pela Agropalma situou-se entre 12 e 15°C. A temperatura média no inverno na região de Nova Era, onde se encontra localizado o “Posto de Abastecimento de Drumond”, pode ser inferior a esse valor, levando à formação de cristais e à solidificação do biodiesel (B100) durante esses meses de inverno.

Uma alternativa é que a mistura B20 seja realizada em uma região mais quente e que só após sua mistura seja transportado para Nova Era. Essa solução, contudo, irá onerar o transporte do combustível. Não se recomenda o aquecimento do tanque de B100, pois haverá alteração na estabilidade oxidativa do biodiesel, provocando aceleração no seu envelhecimento e reduzindo seu “prazo de validade”. Outra opção viável seria a adição de um depressante de ponto de fluidez. Essa solução também demandou um estudo do tipo e quantidade de aditivo possível de ser incorporado ao B100, de modo a reduzir suficientemente o ponto de fluidez. Estas alternativas foram motivos de um estudo e tratadas em um Relatório específico sobre “Abaixamento do Ponto de Fluidez do Biodiesel”, cujos resultados resumidos são apresentados a seguir:

A.6.1 - Colocação de Aditivos

A dificuldade na redução é similar à dificuldade de abaixar o ponto de fluidez de parafinas, pois o biodiesel de palma apresenta uma cadeia parafínica longa. Por isso, foram usados aditivos utilizados na indústria do petróleo e também diversos aditivos específicos para biodiesel importados pela COPPE da Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha. Quando se utilizou um biodiesel com ponto de fluidez de 12°C, a variação máxima obtida com esses aditivos foi de 4 °C com a colocação de 1% em massa do aditivo em questão.

Estima-se que a aditivação com 1 % em massa deve onerar o biodiesel em aproximadamente R\$0,20 por litro. O custo do biocombustível é elevado e um acréscimo no seu custo poderá inviabilizar a utilização do biodiesel de palma em uma região mais fria, caso se use qualquer aditivo em elevadas proporções.

Muitos dos aditivos prometiam o abaixamento do ponto de fluidez, o que provavelmente é verdade, mas para outros tipos, como soja ou colza. Já outros aditivos provavelmente são eficientes para diminuir o ponto de entupimento a frio, mas não o ponto de fluidez.

A.6.2 - Colocação de Diesel

O ponto de fluidez da mistura foi obtido diluindo-se o biodiesel com o Diesel e diminuiu à medida que se aumenta a concentração do Diesel. A colocação de 0 a 30% de Diesel pode causar uma variação no ponto de fluidez da mesma ordem de grandeza que a colocação do aditivo que apresentou o melhor desempenho. É claro que quanto menor o ponto de fluidez do Diesel, maior a redução na mistura. No inverno, quando se necessita de um ponto de fluidez mais baixo, o Diesel é produzido de modo a atender a uma especificação da ANP bastante mais rigorosa, que auxilia a baixar a fluidez da mistura.

A.7 - Teor máximo de biodiesel no diesel

Os resultados apresentados na utilização da mistura B20 foram promissores logo, foram realizados ensaios de determinação do teor máximo de biodiesel que pode ser acrescentado ao Diesel, de modo que a mistura Bx continue apresentando resultados dentro dos limites estabelecidos na especificação para óleo Diesel, da Resolução ANP nº 15/2006. Um resumo das considerações e dos resultados é apresentado abaixo.

Para a execução do estudo foram usadas amostras de Biodiesel (Tubarão 6) e de Diesel recolhidas na mesma ocasião (17/10/2006). Foram feitas, em laboratório, oito misturas de B20 a B90 e cada mistura submetida aos mesmos ensaios realizados para o óleo Diesel. As conclusões mais importantes obtidos a partir dos ensaios físico-químicos efetuados nas amostras de Diesel/B₂₀₋₉₀ (misturas de laboratório) foram:

Excetuando o ponto de 50% da curva de destilação para misturas com biodiesel superiores a 40%, os demais ensaios realizados em amostras de diferentes teores de biodiesel mostraram conformidade com a Resolução ANP nº15/2006, havendo, inclusive, melhora em diversas propriedades, comparando-se ao Diesel original. O percentual máximo de biodiesel que pode ser adicionado ao Diesel que atende a referida Resolução é, com segurança, de 30% em volume, podendo atingir até 40-45% em volume, dependendo do perfil de destilação do Diesel usado. Considerando-se que o perfil de destilação foi a única característica que saiu de especificação, é possível que percentuais de biodiesel superiores a 40% possam acarretar resultados ainda satisfatórios de desempenho, mas não atenderiam às especificações da ANP.

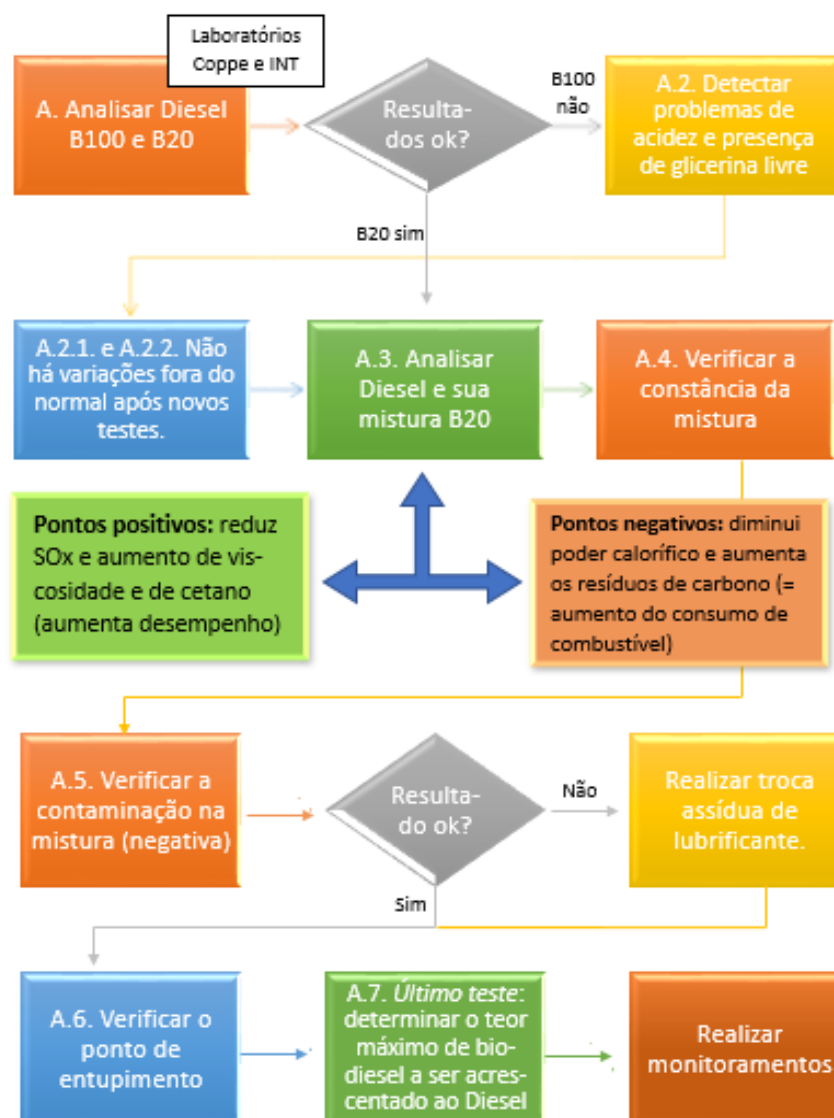
Na destilação temos dois valores a serem obedecidos e analisados: 50 e 85% recuperados. Nos 50%, as temperaturas encontradas para os teores de biodiesel de 20 a 40% ficaram em consonância com a

especificação da ANP, porém acima de 40% de biodiesel, as temperaturas encontradas são superiores ao limite máximo de 310 °C estabelecido na especificação. Assim, misturas com percentuais de biodiesel superiores a 40% somente poderão apresentar resultados conformes caso o Diesel utilizado contenha um teor de leves maior do que o apresentado pelo Diesel em estudo. Não é possível, contudo, escolher o Diesel que será recebido, podendo o fornecedor entregar qualquer Diesel desde que esteja em especificação.

Somente os testes de desempenho, durabilidade e emissões poderão determinar com maior certeza as vantagens e desvantagens da utilização de misturas com elevados teores de biodiesel e necessidade de alterações nos motores para utilização de novos combustíveis. Afirmar que se pode usar sem problemas uma mistura contendo 40% de Biodiesel em Diesel é leviano, pois somente foram realizados testes de consumo e durabilidade até a concentração de 20%. Além disso, deve-se reavaliar se as especificações de um diesel são suficientes para uma mistura nestas concentrações ou se a mistura deveria se submeter também a ensaios específicos para B100, como por exemplo, o índice de acidez e teor de álcool.

Nos 85% recuperados, a análise objetivou o controle do teor de frações pesadas no óleo visando minimizar a formação de depósitos no motor, as emissões gasosas de hidrocarbonetos não-queimadas, a emissão de fumaça preta e de óxidos de nitrogênio. Em relação às temperaturas correspondentes aos 85% destilados, podemos afirmar que o valor se mantém praticamente constante e atende às especificações da ANP para toda a faixa de mistura. A partir de B60 é possível notar uma pequena redução nos valores, provavelmente devido ao craqueamento parcial do biodiesel quando submetido a temperaturas superiores a 300 °C a pressão atmosférica. Quando é realizada a destilação no B100, o método usado é o ASTM-1160, que faz uso da destilação a vácuo, evitando altas temperaturas e consequentemente o seu craqueamento. Portanto, este não seria um problema do biodiesel e sim do método usado para a realização do ensaio de destilação. Foi usado o método ASTM D-86, uma vez que a ANP estabelece que as misturas de Diesel/biodiesel devem seguir as especificações para Diesel; no entanto, uma mistura com teores de biodiesel superiores a 50% apresenta características muito mais próximas de biodiesel do que de Diesel.

Figura 1 Fluxograma - Testes comparativos entre biodiesel puro (B100) e mistura de 20% de biodiesel com 80% de diesel petróleo (B20)



4. Resultados da Pesquisa

4.1. Monitoramento dos impactos do uso do combustível (B20) na potência, eficiência energética, na manutenção das locomotivas (bancada e campo) e na durabilidade de equipamentos

Em termos de desempenho de potência, a Dash 9, pelo fato de ser microprocessada, tende a manter a potência de cada ponto, independente do combustível a ser utilizado. Sendo assim, a redução de potência utilizando B20 foi entre 0,00% e 0,87%, dependendo do ponto de aceleração.

A análise da eficiência energética deu-se por acompanhamento em campo e teste de bancada. Através do estudo estatístico realizado com os dados de campo, e confirmado pelo teste de carga, chegou-se à conclusão de que o consumo do B20 foi, em média, 3,42% maior que o consumo de diesel. De acordo com o mesmo, levando-se em conta o tempo de operação por ponto de aceleração de uma Dash 9 na EFVM, o uso do biodiesel acarreta um aumento de consumo de cerca de 2,10%.

Impactos na manutenção: foram feitas, pela UFRJ, análises de óleo lubrificante e de videoscopias, além do acompanhamento das manutenções de rotina. O “envelhecimento” do óleo durante o período de teste

foi considerado normal, uma vez que a degradação ocorreu de forma semelhante nas duas locomotivas, a 1155 (consumindo óleo diesel) e 1149 (consumindo biodiesel) e no mesmo período. As variações ocorridas nas análises de óleo estavam dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante.

Assim como para o óleo lubrificante, em relação ao correto funcionamento das locomotivas de transporte, a CVRD possui um rígido controle de manutenções mecânicas diversas visando o desenvolvimento correto de suas atividades de transportes. Após confrontados os dados dos testes com o motor a diesel e com o biodiesel/diesel, observou-se valores semelhantes de atividades em ambas as máquinas. Tal fato levou a crer que o uso da mistura biodiesel/diesel não alterou significativamente as atividades de manutenção realizadas pela empresa em suas locomotivas de transporte de carga.

Análises de videoscopia foram realizadas na locomotiva entre março e dezembro, início e fim do projeto, respectivamente. A partir dos resultados, concluiu-se que não houve nenhuma alteração significativa por conta do uso da mistura B20 nos componentes do motor (pistão, camisa, ponto morto superior e válvulas).

4.2. Monitoramento das emissões de poluentes atmosféricos decorrentes do uso de biodiesel (B20)

Não existe uma regra geral que permita prever as emissões produzidas pela utilização do Biodiesel em motores Diesel, devido à diversos fatores que as influenciam, tais como: 1) Origem do óleo vegetal e suas propriedades físico-químicas. 2) Geometria da câmara de combustão e tipo de sistema de injeção. 3) Características operacionais do motor, como pressão e temperatura máxima de combustão, razão ar-combustível, duração da injeção e da combustão, etc.

Para a locomotiva Dash 9 operando em ponto 8 (ponto de maior potência e, conseqüentemente, de maior emissão de poluentes), mediu-se uma redução de cerca de 19% de NO_x, 32% de HC e 30% de SO₂. As emissões de CO₂ e CO não sofreram grandes alterações neste ponto de aceleração. Dentre as vantagens do uso do B20, destacam-se as menores taxas de emissões de HC, SO₂, CO e NO_x, maior lubrificidade do combustível, o que normalmente acarreta menor desgaste da bomba injetora. Como desvantagem do B20, cita-se o maior consumo de combustível para a mesma potência de motor, em relação ao óleo diesel.

A Tabela 1 apresenta as variações percentuais esperadas nas emissões atmosféricas com o uso de B20 em locomotivas Dash 9 na Estrada de Ferro Vitória a Minas. Os cálculos foram realizados com base nos dados obtidos em dinamômetro para cada ponto de aceleração, considerando o percentual de tempo característico que esta locomotiva opera em cada ponto numa viagem típica neste trecho. Não é possível avaliar o erro, tendo em vista tratar-se de um único experimento – teste em bancada dinamométrica da locomotiva 1149.

Tabela 1. Redução percentual esperada das emissões de poluentes pelo uso de B20 em uma Dash 9 circulando na EFVM.

Poluente	Redução Percentual (%)
CO ₂	1,57
CO	-9,09
HC	-19,17
NO _x	-6,08
O ₂	-0,05

SO₂ -23,42

Fonte: O autor

5. Considerações Finais

Existe um crescente entendimento, por parte da sociedade, de como o aquecimento global, diretamente relacionado às emissões de gases de efeito estufa (GEE) de origem antrópica, constitui o mais grave problema ambiental a ser combatido neste início do século XXI. Inúmeras ações concomitantes são requeridas para realizar as reduções radicais necessárias para estabilizar os GEE na atmosfera.: melhorias em conservação e uso eficiente de energia, maior uso de energia nuclear, gerenciamento apropriado no uso da terra (reflorestamento, plantio direto), sequestro e armazenamento de carbono em depósitos subterrâneos e o crescente uso de energias renováveis, como a eólica, solar, geotérmica, marés e, particularmente para o setor de transportes, os biocombustíveis.

Com a perspectiva do uso maciço de biodiesel na frota veicular da maioria dos países, a produção de óleos vegetais deve continuar a crescer a taxas elevadas por muitos anos, o que tem causado preocupações ambientais, devido aos conflitos iminentes entre o uso da terra para produção de combustíveis *versus* alimentos. Graças ao fato de ser a oleaginosa com maior rendimento (por área) e menor custo de produção, o óleo de dendê ultrapassou a soja e se tornou em 2005 o óleo vegetal mais produzido no mundo, e sinaliza, a médio e longo prazo, como o mais sério candidato a oleaginosa preferencial para a produção de biodiesel, em substituição à soja e a colza, largamente empregados para tal fim nos EUA e União Europeia, respectivamente.

Existe um forte apelo ecológico na cultura agrícola da palma ou dendê por conta de seu reduzido impacto ambiental (comparado a outros cultivos tropicais), alto balanço energético e seu expressivo nível de sequestro de carbono. Por outro lado, a dendeicultura exige reduzido emprego de defensivos agrícolas, pouca mecanização e não requer mão-de-obra qualificada. Por se tratar de um cultivo perene, com vida econômica útil superior a 20 anos e produção contínua durante todo o ano, garante ao produtor uma renda constante e superior a de outros cultivos. Sendo assim, é uma excelente opção de política pública para conter o êxodo rural e fixar o homem ao campo.

O Brasil, apesar de responsável por apenas 0,6% da produção mundial de óleo de palma, possui o maior potencial edafo-climático para o seu cultivo em todo o mundo, quase todo situado na região amazônica, de grande importância ecológica. A área degradada nesta região que reúne as condições adequadas para o cultivo da palma é estimada em mais de 10 milhões de hectares. Para fins de comparação, esta é uma extensão maior do que a soma das áreas utilizadas pela Malásia e Indonésia, responsáveis por 85% da produção mundial da oleaginosa.

Para o Brasil cumprir, de forma ambientalmente sustentável, seu potencial de se tornar o maior produtor mundial de biocombustíveis, será imperativo que o dendê, oleaginosa mais competitiva que existe, seja alçado à condição de insumo preferencial do biodiesel. Outras oleaginosas, como a mamona e a soja, além de possuir um rendimento de produção de óleo/hectare muito abaixo da palma, possuem outras vocações, como lubrificante e farelo animal, respectivamente. Tal como no Proálcool, a nação, dentro do escopo do PNPB, deve investir pesadamente em pesquisas e atividades de fomento à cadeia agroindustrial da palma para que o Brasil se torne uma potência em biodiesel da mesma forma como já o é em bioetanol.

Referências

- ABIOVE. Associação Brasileira de Óleos Vegetais. *A ABIOVE*.2017.Disponível em www.abiove.org.br/site/index.php?page=historia&area=My0xLTU=. Acesso em 25 de fevereiro de 2018.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Boletim Mensal do Biodiesel* da Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. In: Boletins ANP, abril de 2013.
- ANP.*Biodiesel*, outubro de 2017. 2017a. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em 23 de fevereiro de 2019.
- ANP.*Anuário Estatístico*, 2017.2017b. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>. Acesso em 23 de fevereiro de 2019.
- ANP. *Boletim Mensal do Biodiesel* da Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. Boletins ANP, fevereiro de 2018. 2018a.
- ANP.*Informações de mercado*.2018b. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>. Acesso em 23 de fevereiro de 2018.
- ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres.*Ferroviária*, 2015. Disponível em <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/4751/Ferroviaria.html>. Acesso em 17 de março de 2018.
- CNT – Confederação Nacional dos Transportes. Boletim estatístico, 2017. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas>. Acessado em 02 novembro de 2019.
- DEFANTI, Leoanrdo S.; SIQUEIRA, Nathalia S.; LINHARES, Paolla C.Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. Bolsista de Valor: *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, v. 1, p. 11-21, 2010.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária – *Coeficientes técnicos do Dendê*, 2003.Disponível em <http://www.cpaa.embrapa.br/portfolio/sistemadeproducao/dende/coeficientestecnicos.pdf>. Acessado em outubro de 2006.
- IEA. International Energy Agency.*Biofuels for transport: international perspective*. Paris: OECD, 2004.
- MMA. Ministério da Agricultura –*Plano Nacional de Agroenergia*. 2ªed.Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- MME. Ministério das Minas e Energia.*Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel* –In: SOUTO, João José de Nora (Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis). **Apresentação**. Brasília, 31 de agosto de 2006. Disponível em www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/apresentacao/MMEbiodieselMCT.ppt. Acessado em janeiro de 2007;
- VILLELA, Alberto Arruda. *O Dendê Como Alternativa Energética Sustentável em Áreas Degradadas da Amazônia*. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento Energético). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,2009. 175p.

Recebido em: 20/10/2021

Aceito em: 05/11/2021

Endereço para correspondência:

Nome: Aurélio Lamare Soares Murta

Email: rev.tema@gmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)