

# COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA COM DIESEL E BIODIESEL ANALISANDO TODOS OS CUSTOS ENVOLVIDOS

Miguel Edgar Morales Udaeta  
Ricardo Lacerda Baitelo  
Geraldo Francisco Burani  
José Aquiles Baesso Grimoni

GEPEA-USP

Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158; CEP: 05508-900; São Paulo - SP – Brasil

eMail: udaeta@pea.usp.br

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo um estudo comparativo entre duas fontes de energia: diesel e biodiesel. Para a análise comparativa, é utilizada a Análise de Custos Completos, uma ferramenta de análise comparativa, que engloba todos os fatores incorridos num determinado empreendimento; não somente aspectos técnicos e econômicos, como também ambientais e sociais. A partir dos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que os dois combustíveis se equiparam, obtendo praticamente a mesma pontuação. Contudo, o diesel é mais viável do ponto de vista técnico-econômico, enquanto o biodiesel se mostra bastante promissor dos pontos de vista ambiental e social.

## ABSTRACT

This paper presents the result of a study comparing two energy resources: diesel and bio-diesel. For the comparative analysis, the full cost accounting is used, a tool that encompasses all the factors involved in a specific project, including not only technical or economical aspects, but also environmental and social aspects. According to the results, it is pointed that both fuels are comparable, since both of them obtained similar scores. However, diesel fuel has more technical and economical advantages, whereas biodiesel proves to be superior in terms of social and environmental areas.

## 1. INTRODUÇÃO

A crise energética brasileira gerou questões em discussão quanto à disponibilidade de recursos energéticos e a oferta de energia. Várias propostas foram debatidas e o governo adotou medidas emergenciais de investimento no setor elétrico para conter a falta de oferta em algumas regiões do Brasil. Um dos setores da indústria que destacou neste período foi a produção de grupos geradores, pois, para atingir as metas de racionamento sem prejudicar a produção, as indústrias recorreram aos grupos geradores para fugirem do mercado spot. O principal combustível utilizado para a geração de eletricidade é o óleo diesel, subsidiado pelo governo, sendo aproximadamente 15% da quantidade consumida nacionalmente importada. É derivado do petróleo, combustível fóssil não-renovável e

principal fonte poluidora de gases responsáveis pelo aquecimento global; questão problemática nas principais metrópoles do mundo. Vários países têm feito pesquisas que visam a substituição do óleo diesel pelo biodiesel, dentre eles a Alemanha, que já produz biodiesel a custos iguais ao óleo diesel. No Brasil existem centros de pesquisa que estudam a viabilidade de produção do biodiesel no país, projetos piloto em alguns estados e o PROBIODIESEL, Programa nacional de incentivo ao Biodiesel, criado em 2003.

Dada a ampla disponibilidade de óleos vegetais e álcool etílico de cana-de-açúcar, esta tecnologia representa um grande potencial como alternativa energética para o Brasil. Assim, o escopo deste trabalho é focalizar a produção de energia elétrica utilizando estes dois combustíveis e fazer uma análise comparativa através da ferramenta de custos completos, incorpora todas as dimensões de análise relevantes a tal empreendimento.

## **2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM DIESEL**

A geração de energia elétrica com óleo diesel é encontrada principalmente em centrais termelétricas, regiões isoladas da rede elétrica e indústrias que utilizam grupos geradores como sistemas de emergência e operação na ponta, visando aumentar a confiabilidade da planta e economizar a fatura de energia. O foco deste trabalho foi direcionado à utilização de grupos geradores operando na ponta, por se tratar de seu uso mais frequente nas indústrias.

A implantação de grupo gerador requer um estudo minucioso de operação, conexão com a rede e proteções do sistema elétrico, exigidas pela concessionária no paralelismo. Dependendo do tipo de utilização, o custo de instalação varia de 10 a 30% do equipamento e sua vida útil é de 20 a 25 anos, com custo de manutenção a R\$ 0,30/ kW, chegando a um custo de geração pós racionamento (fim de 2002) de R\$280,00/MW para óleo diesel e R\$340,00 para biodiesel, e de R\$480,00/MW e R\$ 610,00/MW (valores atualizados de 2004). Tais quantias podem sofrer variações intimamente ligadas ao custo do combustível. Do ponto de vista técnico-econômica, indica-se o óleo diesel como fonte mais vantajosa, pois o prazo de retorno de capital investido é de 2 a 2,5 anos operando na ponta de indústrias com fatores de carga e demanda típicas. O biodiesel ainda não é viável economicamente, no entanto apresenta vantagens ambientais com baixas emissões de poluentes e a possibilidade de tornar-se um produto promissor para o setor agrícola.

## **3. BIODIESEL**

O Biodiesel (éster de ácidos graxos) é um substituto do diesel, de combustão mais limpa, feito de fontes naturais renováveis tais como óleos vegetais e animais. Assim como o diesel mineral, o biodiesel opera em motores de combustão-ignição. Pode ser usado como um substituto, mistura ou aditivo ao óleo diesel. Misturas de até 20% de biodiesel (a 80% de diesel convencional) podem ser usadas em praticamente qualquer equipamento diesel e são compatíveis com a maioria dos equipamentos de armazenamento e distribuição. Tais misturas (20% ou menos) não requerem nenhuma modificação de motor e podem proporcionar performances próximas às do diesel. Misturas mais elevadas, ou até o biodiesel puro (100% biodiesel, ou B100), podem ser usadas em muitos motores com pequenas alterações, posto que as propriedades físicas do Biodiesel são muito semelhantes às do Diesel.

O uso do Biodiesel em um motor convencional a diesel reduz substancialmente as emissões de hidrocarbonetos não queimados, monóxido de carbono, sulfatos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, e material particulado. Tais reduções aumentam conforme a quantidade de biodiesel misturado ao diesel. As maiores reduções são obtidas usando-se o B100 (biodiesel puro). Há ainda

diminuição da fração de carbono sólido de material particulado (já que o oxigênio do biodiesel possibilita uma combustão mais completa do CO<sub>2</sub>) e reduz a fração de sulfatos (biodiesel contém menos de 24 ppm de enxofre), mantendo constante ou aumentando a porção solúvel de material particulado. Assim, o biodiesel funciona bem com novas tecnologias como catalisadores (que reduzem a fração solúvel de partículas diesel, mas não a fração de carbono sólido) e recirculação de gases de escape. Emissões de óxidos nítricos, no entanto, aumentam de acordo com a concentração do biodiesel no combustível e o tipo de biodiesel usado.

A maior desvantagem do biodiesel é ainda o seu custo de geração, mais elevado que o do diesel, analisado mais adiante neste trabalho. Subsídios do governo seriam essenciais para possibilitar a produção do biodiesel. O potencial de substituição do diesel convencional é ainda pequeno, já que a quantidade de óleo vegetal necessária para servir à produção de biodiesel teria que ser suplementar à utilizada para a indústria de alimentação e demandaria grandes volumes de safra para atender ao mercado de combustíveis.

### **3.1 Produção de Biodiesel**

O biodiesel é uma evolução na tentativa de substituição do diesel por biomassa, iniciada pelo aproveitamento de óleos vegetais “in natura”. É obtido por transesterificação ou alcoólise, processo que consiste na reação de óleos vegetais com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool (normalmente o metanol) com um catalisador. A reação traz como produtos um éster metílico (biodiesel) e glicerol. Os ésteres têm propriedades físico-químicas muito semelhantes às do diesel, conforme dados colhidos de inúmeras experiências realizadas mundialmente.

A produção do biodiesel a partir de óleos e gorduras pode ser feita a partir de três reações básicas:

- Transesterificação do óleo a partir de catalisação básica;
- Transesterificação direta do óleo a partir de catalisação ácida;
- Conversão do óleo para ácidos graxos e depois para biodiesel.

A maioria do biodiesel produzido internacionalmente é feita a partir da reação de catalisação básica por uma série de motivos:

- Sua baixa temperatura e pressão;
- Alta conversão (98%) com baixo tempo de reação;
- É uma conversão direta ao biodiesel sem formação de compostos intermediários;
- Não é necessária a utilização de materiais de construção estranhos.

O processo geral consiste num óleo ou gordura reagindo com um álcool, como etanol, na presença de um catalisador, produzindo glicerina e ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel). O metanol ou etanol é carregado em excesso para ajudar na rápida conversão, sendo recuperado para reutilização. O catalisador usado normalmente é o sódio ou o hidróxido de potássio, já misturado ao álcool.

### **3.2 Motivações para o Uso Nacional do Biodiesel**

A substituição do diesel pelo biodiesel se mostra mais interessante em situações comprovadas de benefícios econômicos e ecológicos. A meta de uma possível indústria de biodiesel não é tampouco substituir o diesel, mas estender sua utilidade. O papel do biodiesel é trazer benefícios nos campos econômico, social, ambiental e político, contribuindo ainda para a longevidade e eficiência dos motores Diesel usados em geradores, atendendo a mercados que requisitem um combustível mais limpo e seguro.

No campo ambiental, apesar do aumento da emissão de compostos nítricos, o biodiesel proporciona a redução de poluentes como materiais particulados, monóxido de carbono,

hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (compostos cancerígenos), óxidos de enxofre, e gás carbônico, em relação ao diesel mineral.

O Brasil é um país de grande biodiversidade, muito rico em oleaginosas, cujas culturas, porém, são restritas a fins alimentícios. Há um grande potencial a ser explorado, tanto em relação ao aproveitamento energético de culturas temporárias e perenes, como em relação ao aproveitamento energético do óleo residual proveniente da alimentação.

A implementação de um programa energético de biodiesel abre oportunidades para grandes benefícios econômicos e sociais. O aproveitamento do biodiesel traz o efeito econômico benéfico de reversão no fluxo internacional de capitais além da comercialização internacional de certificados de redução de emissões de gases de efeito estufa. O Brasil importa cerca de 35% do diesel que consome, 15% na forma de petróleo para refinar e 20% do diesel já refinado. O diesel corresponde a 42% dos derivados de petróleo usados no país, sendo a gasolina responsável por 26%. Com o programa Biodiesel o Brasil compraria 33% a menos de petrodiesel, o que, de acordo com estudos, representaria uma economia nas importações brasileiras do petrodiesel próxima a US\$ 75 milhões anuais (o álcool, em quase três décadas, já permitiu uma economia acima de US\$ 4 bilhões com a quantidade evitada de petróleo importado).

Do ponto de vista social, pode-se apontar benefícios decorrentes de um alto índice de geração de empregos (fala-se em 200.000 empregos) por capital investido; aquecimento de economias regionais com o incremento da área de cultivo em 100.000 hectares de cana-de-açúcar (no caso de aplicação do biodiesel etílico), 2.500.000 hectares de girassol ou 5.000.000 hectares de soja, (dependendo do óleo utilizado); valorização do campo e promoção do trabalhador rural; e ainda demanda por mão de obra qualificada para o processamento e beneficiamento dos óleos vegetais. Como benefício agrícola pode-se ainda apontar o aumento da oferta da fração protéica das oleaginosas, importante insumo para a indústria de alimentos e ração animal, além de nitrogenar o solo durante o crescimento, viabilizando o consórcio do plantio de outras culturas.

### **3.3 O uso nacional do Biodiesel**

No Brasil, há diversas experiências sobre o uso do biodiesel, proveniente de óleos novos e usados, puros ou misturados ao diesel. Porém, apenas em 98 a Agência Nacional de Petróleo, órgão regulador do setor, publicou a Resolução no. 180, sobre a necessidade de realização de testes pré-aprovados para a homologação de combustíveis não especificados.

Nos últimos anos foram constatados diversos avanços em relação à implantação do Biodiesel no Brasil, como o lançamento do programa do governo, o PROBIODIESEL, o projeto de se misturar entre 3 e 5% de biodiesel ao diesel usado em veículos no país, em parceria com o MCT e universidades brasileiras, e o Projeto Biodiesel Brasil, da USP de Ribeirão Preto, que criou o primeiro biodiesel totalmente renovável do mundo, reduziu o tempo de reação de produção de 6 horas para 30 minutos e cujo laboratório conta com uma capacidade de produção inicial de 1000 litros por dia. Há projetos de implantação em diversos estados brasileiros. No Paraná o biodiesel já é uma realidade, sendo discutida sua expansão de uso; no Rio Grande do Norte, o primeiro projeto-piloto de produção de biodiesel da Petrobras está sendo desenvolvido a partir da mamona; no Rio de Janeiro, o governo estadual planeja produzir o combustível a partir do girassol e o Acre deve ser um dos primeiros estados amazônicos a utilizar o biodiesel como fonte energética.

Em relação ao uso de oleaginosas para a produção nacional de biodiesel, há diversas possibilidades como soja, girassol, milho, pequi, dendê, babaçu, macaúba, algodão, amendoim, entre outros. O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, porém maior destaque também deve ser dado a outras oleaginosas, pois da soja são obtidos apenas 400 kg de óleo por hectare, enquanto o girassol e o amendoim rendem o dobro e têm uma extração mais simples do que a da soja, viável somente para grandes indústrias. O rendimento das palmeiras é ainda mais superior, tendo como principais

representantes o babaçu (1600 Kg de óleo por hectare), a Macaúba (4000 Kg) e o Dendê (5900 Kg por hectare). No entanto, as grandes produções de biodiesel no Brasil deverão ser feitas inicialmente com óleo de soja, em função da maior capacidade produtiva atual desse setor; produtores de pequeno e médio porte poderão recorrer a cultivos de amendoim e girassol.

Quanto ao uso do álcool para a produção do Biodiesel, muitas vantagens podem ser obtidas se utilizado o etanol, posto que o metanol é um combustível tóxico, não-renovável (derivado do petróleo) e de tecnologia de produção importada. Já o etanol não é tóxico, tem origem vegetal e seria obtido nacionalmente, já que o Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar. Tal uso resultaria na retenção de recursos econômicos no país, permitindo o incremento da área plantada, a geração de empregos e aplicando uma tecnologia totalmente nacional, já desenvolvida e economicamente viável.

As dificuldades anteriores observadas durante os processos de separação de fases e purificação foram completamente superadas, o processo foi simplificado e os ésteres etílicos já são extraídos com rendimentos químicos equivalentes àqueles obtidos na rota metílica. Além do domínio nacional na obtenção do Biodiesel, houve avanços consideráveis na purificação dos subprodutos do processo, glicerina e fertilizantes.

### **3.4 Avaliação de Custos Completos**

Englobando os conceitos de desenvolvimento sustentável e planejamento integrado de recursos, os custos completos são uma ferramenta que trabalha questões como o uso eficiente de energia aos aspectos naturais, econômicos e principalmente humanos propondo incorporar, na avaliação de um determinado empreendimento, todos os custos incorridos em sua realização, impactos e custos sócio-ambientais internos ou externos.

## **4. ANÁLISE COMPARATIVA**

É adotada uma abordagem qualitativa de avaliação, no intuito de evidenciar os impactos associados a cada recurso. As etapas de avaliação consistem em: estudo de possíveis impactos de cada recurso; montagem das Matrizes de Avaliação; definição de pesos e valorações para cada item (impacto) considerado; aplicação da Matriz para ambos os recursos; discussão dos resultados globais.

Para a avaliação, definimos quatro áreas de comparação de geração de energia elétrica entre os dois combustíveis: Ambiental, Técnico-Econômica, Política e Social. Cada área subdivide-se em itens a serem avaliados. É atribuído um fator de influência (FIR) exercido por cada indicador, com pesos de 1 (baixa influência) a 4 (influência determinante), conforme a importância de um fator na tomada de decisão de um recurso. A cada item é atribuída uma classificação, com pontuações variando de 2 (ruim) a 10 (bom), conforme o desempenho de cada item. A valoração final de cada item é obtida multiplicando-se a classificação pelo FIR atribuído ao item. Na matriz de avaliação tem-se a ordenação dos impactos associados a cada área de comparação.

A pontuação de cada área é obtida a partir da somatória dos itens referentes à mesma. Após a comparação dentro de cada área, obtemos uma comparação unificada dos dois recursos, através da normalização das pontuações de cada área, obtendo uma pontuação global. A pontuação global do recurso possibilita uma conceituação final para cada combustível, sendo o recurso mais vantajoso aquele que obtiver uma maior pontuação.

Fator Considerado	Níveis de Valoração Relativa					F I R	Bio diesel (B)	Diesel (D)
	2 Ruim	4 Insatisfatório	6 Indiferente	8 Satisfatório	10 Bom			
T é c n i c o e c o n ô m i c a	Custo total da energia gerada	Custo >400 (B)	Custo entre 300 e 400 (D)			4	2*4=8	4*4=16
	Domínio da tecnologia necessária			Experiência média de operação (B)		3	6*3=18	10*3=30
	Disponibilidade do combustível	Pouco Disponível (B)				3	2*3=6	10*3=30
	Performance				Eficiência Satisfatória (B)	4	8*4=32	10*4=40
	Confiabilidade				Equivalente para ambos (B) e (D)	2	8*2=16	8*2=16
	Vida Útil Motor/Comb.			Vida útil Moderada (D)	Durabilidade do motor (B)	2	6*2=12	8*2=16
	Perspectivas de viabilidade econômica			Perspectiva estacionária (D)		2	10*2=20	6*2=12
A m b i e n t a l	Emissões	Alto nível de emissões (D)		Emissões Médias (B)		4	6*4=24	2*4=8
	Impactos sobre a Saúde Humana		Prejudicial (D)		Pouco Prejudicial (B)	3	8*3=24	4*3=12
	Balanco Energético		Baixo balanço Energético (D)			2	4*2=8	10*2=20
	Biodegradabilidade e Renovabilidade	Não –renovável (D)				2	10*2=20	2*2=4
	Segurança do combustível		Riscos quanto a segurança (D)			2	10*2=20	4*2=8
	Ruído dos geradores			Ruído regular		1	6*1=6	6*1=6
P o l í t i c a	Provisão estratégica do combustível	Não há provisão comercial (B)		Combustível parcialmente Importado (D)		3	2*3=6	6*3=12
	Programas governamentais		Poucos programas de apoio (B)		Programas efetivos de incentivo (D)	3	4*3=12	8*3=24
	Investimento atual em geração		Baixos Investimentos (B)		Investimentos do governo (D)	3	4*3=12	8*3=24
	Obrigações contratuais com o combustível			Não há obrigações contratuais		1	6*1=6	6*1=6
S o c i a l	Desenvolvimento Local				Positivo para comercio e indústria (D)	3	10*3=30	8*3=24
	Contribuição para a Qualidade de Vida			Sem alteração Significativa (D)		3	10*3=30	6*3=18

Após a valoração e a descrição de cada item e a comparação dos recursos dentro de cada área com a obtenção de conclusões específicas, obtemos agora um panorama global dos recursos comparados. Como explicado no capítulo anterior, não podemos somar pontuações de áreas diferentes, sendo necessária uma ponderação, para que os quatro fatores sejam considerados em grau igualitário de importância. Agregando-se as pontuações referentes a cada área, agora recalculadas como diferenças percentuais, atingimos uma pontuação global para cada recurso. As valorações percentuais, assim como a valoração global obtida podem ser vistas na tabela abaixo:

Área Recurso	Técnico/Econômica	Ambiental	Política	Social	TOTAL
Biodiesel	120 71,5%	<b>102</b> 100%	36 54,5%	<b>60</b> 100%	326%
Diesel	<b>168</b> 100%	58 57%	<b>66</b> 100%	42 70%	327%

## 5. CONCLUSÕES

O resultado global indica que ambos os recursos se equiparam, já que o diesel, como visto anteriormente, é favorável a partir das análises técnico-econômica e política, e o biodiesel apresenta vantagens ambientais e sociais. Temos, portanto, uma igualdade, com cada recurso excedendo-se em duas áreas. Assim, a escolha do recurso mais eficiente deve ser feita conforme a área que mereça maior ênfase. É importante salientar que o resultado obtido não é definitivo, podendo ser modificado conforme os fatores de influência e as valorações atribuídas a cada recurso, que podem variar a médio e longo prazo, com a produção do biodiesel no Brasil e o seu conseqüente aumento de disponibilidade. O desenvolvimento de programas e leis que favoreçam a difusão do biodiesel também podem ampliar a sua viabilidade econômica e aumentar as suas aplicações. Comparando os custos de geração de ambos os combustíveis em relação à rede elétrica, para valores de tarifa referentes a 2002, conclui-se que a operação usando geradores a diesel somente é viável para horários de ponta. O biodiesel registrou, para essa mesma faixa de horário, custo semelhante ao da rede. Para valores atualizados, o custo do biodiesel (R\$ 610/MW) supera em muito o custo de geração na ponta, de R\$ 410, 00?MW, provando-se inviável, pelo menos para tal aplicação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lora, E.E.S Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte, Brasília, DF : ANEEL, 2000.
- [2] Usinas Termelétricas de Pequeno Porte no Estado de São Paulo, São Paulo, CSPE, 2001.
- [3] Carvalho,C.E; Chian, C.C.T Avaliação dos Custos Completos dos Recursos Energéticos na Produção Integrada de Termofosfatos na MPP, Projeto de Formatura, São Paulo, 1997.
- [4] Carvalho,C.E A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético, Tese de Mestrado,São Paulo, 2000.

- [5] Boarati, J.H. Shayani R.A. Hidrelétricas e Termelétricas a Gás Natural – Estudo Comparativo utilizando Custos Completos, Projeto de Formatura, São Paulo, 1998.
- [6] Normas e procedimentos técnicos, Elektro.
- [7] Website: [www.criseenergetica.com.br](http://www.criseenergetica.com.br)
- [8] Website da Petrobrás [www.br.com.br](http://www.br.com.br)
- [9] Website do Biodiesel nos Estados Unidos [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org)
- [10] Website do XVII SNPTEE [www.xviisnp tee.com.br](http://www.xviisnp tee.com.br)