2

O Biodiesel

2.1.
Experiência da Europa com o Biodiesel

A Europa é a líder mundial em produção de Biodiesel. Combinando a produção de Biodiesel da Alemanha, França e Itália chega-se a um número aproximadamente igual a dezoito vezes a produção dos Estados Unidos, relata Pahl (2005).

Capacidade de Produção Anual de Biodiesel na UE
(mil toneladas)

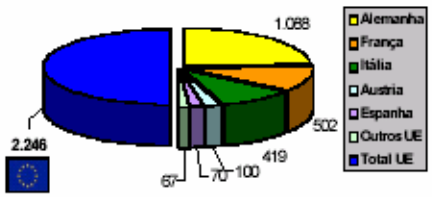


Figura 03: Capacidade de Produção Anual de Biodiesel na União Européia.
Fonte: European Biodiesel Board (EBB, 2005)

De acordo com o EBB (2005), a capacidade de produção de Biodiesel na Europa Ocidental no ano de 2004 era de aproximadamente 2,2 milhões de toneladas por ano. Este volume era proveniente de mais de 50 plantas de produção, localizadas principalmente na Alemanha, que é responsável por aproximadamente metade da capacidade da União Européia – EU; algo em torno de 1 milhão de toneladas por ano. A França aparece em segundo lugar, com capacidade de aproximadamente 502.000 toneladas por ano, seguida da Itália com 419.000 toneladas por ano e Áustria em quarto lugar da lista, com 100.000 toneladas por ano. Logo depois tem-se a Espanha, com capacidade de produzir anualmente 70.000 toneladas de Biodiesel.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Produção Anual de Biodiesel na UE (mil toneladas)

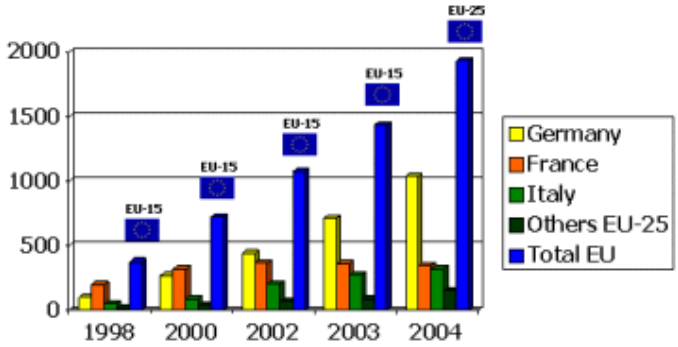


Figura 04: Produção Anual de Biodiesel na União Européia.
Fonte: European Biodiesel Board (EBB, 2005)

A Europa vem produzindo Biodiesel em escala industrial desde 1992, primariamente em resposta às ações de várias instituições e ações da UE (Pahl, 2005). Neste ano, ocorreram mudanças de regras na Política Comum de Agricultura – "*European Union's Common Agricultural Policy* (CAP)". As mudanças impactaram profundamente a indústria do Biodiesel na Europa. Segundo Pahl (2005), a produção na Alemanha, que, em 1992, era de apenas 5.000 toneladas, subiu no ano seguinte para 10.000 toneladas. A França, que tinha produção praticamente nula em 1992, passou a produzir 20.000 toneladas no ano seguinte.

O grande salto na produção de Biodiesel na Europa se deu por volta da virada do século XXI, impulsionado pela queda do preço dos óleos vegetais e do alto preço dos derivados do petróleo, figura 04. Naquela época, podem-se registrar significativos crescimentos de capacidade de produção, principalmente na Alemanha, com aumento de aproximadamente 200% (Pahl, 2005). Neste país a produção em 1999 era de 130.000 toneladas e, em 2002, foram registradas 500.000 toneladas de produção de Biodiesel.

A despeito de novas legislações, que promoveriam a produção e uso de biocombustíveis na UE, o ano de 2004 foi um ano difícil para a indústria do Biodiesel, por causa da tendência de aumento dos preços dos óleos vegetais no mercado mundial. "Os atuais preços dos óleos vegetais na Europa estão definitivamente causando problemas aos produtores de Biodiesel", afirmou Raffaello Garofalo, secretário geral do *European Biodiesel Board* (EBB, 2005). Dependendo da matéria prima para a produção de Biodiesel e do processo empregado, a porcentagem do preço final do Biodiesel, referente à matéria

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

prima, representa algo em torno de 60 a 80%. Fica evidente, então, que qualquer flutuação no preço praticado para os óleos vegetais afeta direta e significativamente o preço do Biodiesel.

O direcionamento do programa de Biodiesel da União Européia objetiva a substituição de 2% do diesel usado para transportes em 2005, 5,75% em 2010, e 20% em 2020 (NAE, 2005).

A principal matéria-prima utilizada na Europa é a colza, uma espécie de couve comestível, também conhecida como canola. Estudos realizados pelo EBB (EBB, 2005) mostram que, apesar de o Biodiesel ser uma alternativa tecnicamente viável, devido ao fato de os custos de produção de Biodiesel serem, na Europa, em média, cerca de 1,5 a 3 vezes superiores ao custo de produção do diesel mineral, seu uso torna-se não competitivo, mesmo considerando os créditos por subprodutos associados como a venda da glicerina e torta residual. Fica evidente que a utilização do Biodiesel se torna viável somente se forem considerados fatores indiretos, tais como impacto ambiental, geração e manutenção de emprego e, principalmente, subsídios. Segundo o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE, 2005) estes subsídios, em forma de isenção de impostos, estão estimados em aproximadamente 2,5 bilhões de Euros por ano, para se atingir a meta de 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.1.1.

Experiência da Alemanha

A Alemanha é hoje o maior produtor mundial de Biodiesel. Em 2004 produziu, segundo o EBB (EBB, 2005), 1.035 mil toneladas de Biodiesel. A capacidade de produção cresceu drasticamente, como pode ser visto no gráfico da figura 05.

Na Alemanha, o Biodiesel conseguiu espaço no mercado de combustíveis primariamente como combustível para veículos terrestres, como automóveis e caminhões, e utilizado puro, sem misturar ao óleo diesel. Em 2003 foi aprovada a utilização de misturas de Biodiesel. Sua introdução no mercado foi possível, segundo o UFOP (UFOP, 2005) devido a diversos fatores. Entre eles pode-se citar: (1) a isenção de tributos típicos de combustíveis para o Biodiesel, o que o tornou mais barato que o óleo diesel veicular (ver figura 06), (2) a proibição, em 1996, da venda em postos de combustíveis de gasolina aditivada com chumbo

.

tetraetila, e, ainda, (3) pela criação do governo em 1999 de uma taxa adicional ecológica em combustíveis fósseis.

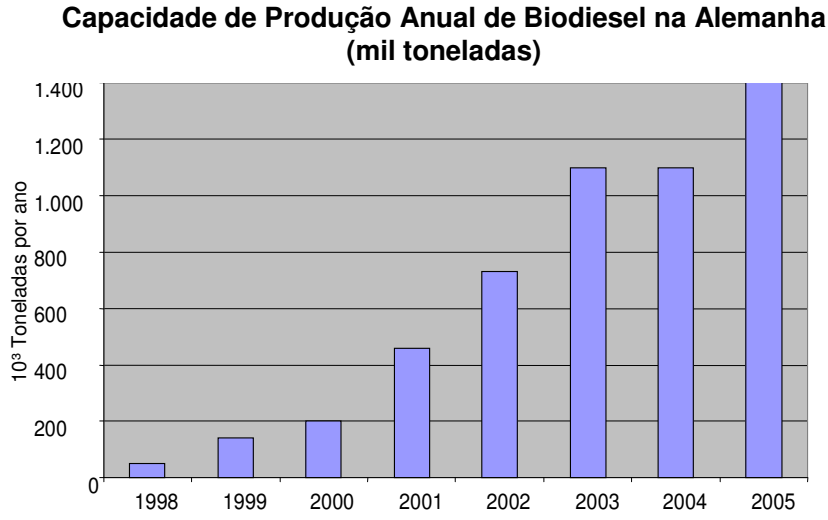


Figura 05: Capacidade de Produção Anual de Biodiesel na Alemanha.
Fonte: Status Report Biodiesel - Biodiesel Production and Marketing in Germany 2005 - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP, 2005 - União Para Promoção de Óleos e Proteínas Vegetais)

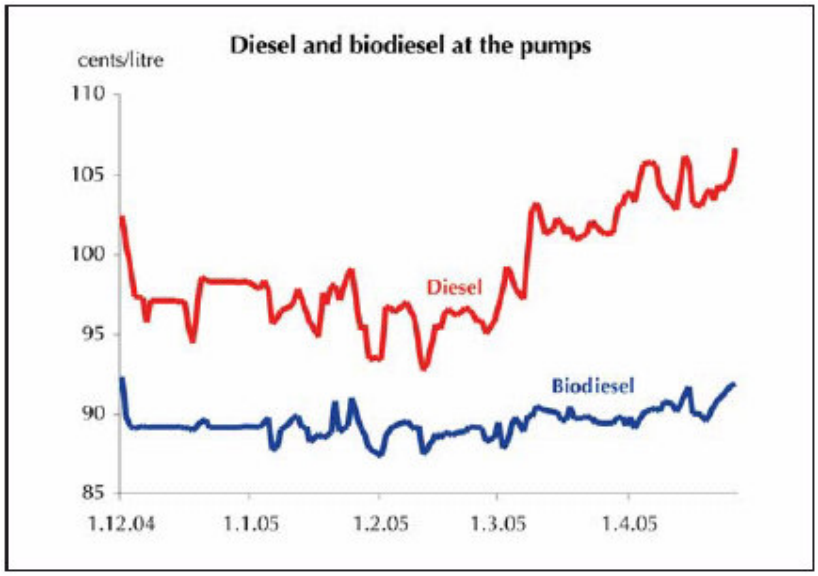


Figura 06: Preços do Biodisel e do Diesel na bomba de combustível na Alemanha.
Fonte: Status Report Biodiesel - Biodiesel Production and Marketing in Germany 2005 - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP, 2005 - União Para Promoção de Óleos e Proteínas Vegetais)

Forças institucionais também foram responsáveis pelo sucesso do Biodiesel na Alemanha. Há grande interação entre os produtores de Biodiesel e fabricantes como Merceds-Benz, Volkswagen, Audi, BMW e MAN. A Associação

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

de Táxis da Alemanha (German Taxi Association) adotou o uso do Biodiesel em nível nacional. Em 1998, a cidade de Kreiswerkr Heinsberg recebeu o título de ser a primeira cidade alemã a possuir toda sua frota de ônibus (Mercedes-Benz e MAN) operando com Biodiesel (UFOP, 2005).

A Alemanha conta com aproximadamente 1900 postos de combustível (UFOP, 2006) espalhados por todo o País oferecendo, em suas bombas, o Biodiesel. Esta a quantidade continua a subir. Estes postos são responsáveis pela venda de 40% do Biodiesel vendido na Alemanha enquanto que o restante é destinado, primariamente, ao transporte público.

A UFOP (2005) cita que a qualidade do Biodiesel produzido e vendido na Alemanha é garantida pela Norma DIN (Deutsches Institute für Normung) EN 14214 e por um selo de qualidade fixado nas bombas de Biodiesel certificadas pala Associação para Qualidade do Biodiesel (*Arbeitsgemeinschaft Qualitatsmanagement Biodiesel* – AGQM).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.1.2.

Experiência da França

A França liderou o ranking de maiores produtores de Biodiesel entre os anos de 1993 e 1999 e hoje ocupa a segunda posição, com o número de 366.000 toneladas anuais de produção, número aproximadamente 3 vezes maior que a produção de etanol no País (Pahl, 2005).

O uso do Biodiesel na França é primariamente misturado à razão de 5% no diesel e em óleo para aquecimento, mas concentrações entre 5% e 30% também são encontradas para veículos de frotas francesas. De acordo com Pahl (2005), aproximadamente 4.000 veículos estão envolvidos em programas de Biodiesel. Entre estes veículos podem ser citados os ônibus públicos de Paris, Bordeaux, Dijon, Dunkirk, Grenble e Strasbourg.

A maior planta de produção de Biodiesel da Europa está localizada na cidade francesa de Grand-Couonne, Normandia. Esta planta tem capacidade de produzir 250.000 toneladas por ano e pertence à Diester Industrie, que é responsável por 80% do mercado Francês. A planta foi construída em 1995 ao custo de 18 Milhões de Euros (Pahl, 2005).

.

2.1.3.
Experiência da Itália

Pahl (2005) relata que a Itália aparece em um cenário de dependência de importação de energia na ordem dos 80%, tornando-a vulnerável neste setor. Por outro lado, oferecem boas perspectivas de longo prazo aos produtores de Biodiesel. A produção italiana, em 2003, foi de 210.000 toneladas anuais de Biodiesel e em 2004, alcançou aproximadamente 320.000 toneladas. Deste total, aproximadamente 90% foram destinados ao aquecimento na composição B100 e por vezes B20, que são respectivamente o Biodiesel puro e a mistura com 20% de Biodiesel. O restante foi vendido como mistura de 5% (B5) nas bombas de postos públicos de abastecimento ou utilizado como B30 no transporte público de cidades como Florença, Gorgonzola, Pádua, e Perúgia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.2.
Experiência dos EUA com o Biodiesel

O programa americano de Biodiesel é bem menor que o europeu e apresenta diferenças importantes. Enquanto que, na Europa, o Biodiesel se desenvolveu essencialmente de “cima para baixo”, como resultado de novas políticas governamentais, a indústria do Biodiesel nos EUA desenvolveu-se de forma contrária de “baixo para cima”, suportada, principalmente, pelos produtores de soja (Pahl, 2005). A principal matéria prima é a soja, seguida pelos óleos de fritura usados.

A principal organização que trata de aspectos ligados ao combustível é a *National Biodiesel Board* – NBB, criada em 1994 como uma associação representativa da indústria do Biodiesel e de coordenação dos estudos e pesquisas sobre o tema. A NBB está sediada em Jefferson City, Missouri.

A produção de Biodiesel nos EUA foi praticamente nula na década de 90, atingindo o inexpressivo número de 1.754 toneladas em 1999. A partir de então começou a crescer exponencialmente (Pahl, 2005) chegando ao número de aproximadamente 105.000 toneladas em 2004, embora este ainda seja um número tímido se comparado com a Alemanha.

A curva de crescimento na produção de Biodiesel nos EUA é representada na figura 07. Pode-se observar um crescimento significativo a partir do ano de 1999, embora o número final ainda seja muito pequeno quando comparado,

também, com os mais de 122 bilhões de toneladas de diesel consumidos anualmente no país.

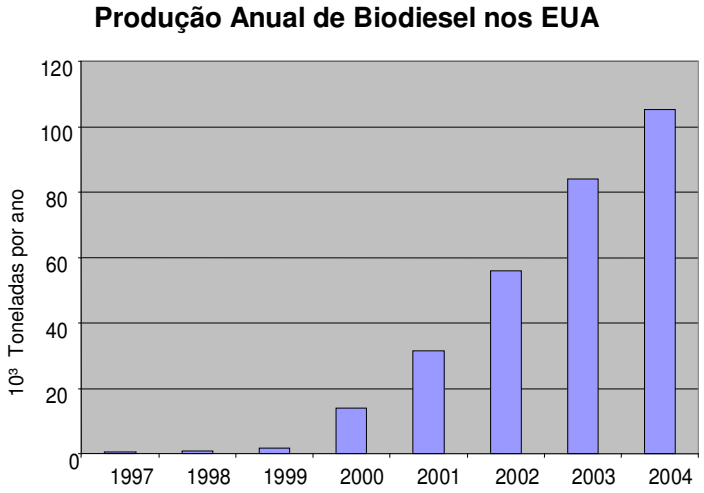


Figura 07: Produção Anual de Biodiesel nos Estados Unidos da América.
Fonte: National Biodiesel Board (NBB, 2005).

2.3.

Aspectos Técnicos do Biodiesel

Como já visto nas seções precedentes, o uso de óleos vegetais *in natura*, como substitutos do óleo diesel, tem sido alvo de pesquisa e desenvolvimento há muitos anos. Apesar de estes óleos possuírem alto índice de cetano e elevado poder calorífico, diversos fatores contribuem para que a substituição em larga escala do óleo diesel, principalmente em motores de pequeno porte, ainda seja evitada. Motores projetados para queimar óleo diesel sofreriam com problemas relacionados à carbonização e depósitos nos bicos injetores e sedes de válvulas, quando queimassem óleos vegetais *in natura*, uma vez que suas moléculas contém glicerina. Outros problemas estão relacionados à diluição do óleo lubrificante, dificuldade de partida a frio, queima irregular, eficiência térmica reduzida, odor desagradável dos gases de descarga e emissão de acroleína (Costa, 2005). Oliveira (2004) cita que a acroleína é uma substância tóxica e é emitida a partir da queima da glicerina contida nos óleos vegetais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

A transformação dos óleos vegetais em um éster de ácido graxo, popularmente conhecido como Biodiesel, é uma forma de minimizar os problemas acima citados.

O Biodiesel pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e óleos utilizados para fritura de alimentos. Pode ser misturado ao óleo diesel mineral (derivado de petróleo) em diversas proporções como 2%, 5% e 20%, gerando misturas. Estas misturas são denominadas respectivamente B2, B5 e B20 (B de "*blend*"). A utilização do Biodiesel também pode ocorrer na substituição total do óleo diesel mineral, neste caso fica denominado B100.

O processo mais desenvolvido tecnologicamente de produção de Biodiesel é conhecido como transesterificação, e será analisado em mais detalhe em um capítulo específico. O Biodiesel é tipicamente obtido através da reação do óleo vegetal com metanol ou etanol, na presença de um catalisador. O metanol tem sido o mais empregado devido ao seu baixo custo e grande disponibilidade em países como EUA, Japão e países da Europa. O etanol, por ser disponível a baixo custo no Brasil, provavelmente será o substrato para o Biodiesel nacional, embora não existam incentivos governamentais privilegiando qualquer uma das rotas tecnológicas de produção.

Os produtos desta reação de transesterificação do óleo vegetal são o Biodiesel (éster alcoólico de ácido graxo) e a glicerina, cujo maior constituinte é o glicerol.

O incentivo ao desenvolvimento do Biodiesel no Brasil deve surtir diversos efeitos positivos, entre eles efeitos econômicos imediatos, ambientais e sociais. Além do mais, beneficiaria as localidades isoladas, onde o custo do transporte do diesel mineral é elevado.

Para melhor entendimento, e para não tornar o texto repetitivo, a partir deste ponto onde aparecer a palavra "Diesel" será entendido como o óleo Diesel mineral derivado do petróleo, e, quando aparecer a palavra Biodiesel, ou somente B2, B5, B20 e B100, será entendido como o Biodiesel nas proporções já mencionadas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.1.
Balanço energético

Embora seja um assunto fundamental para se tomar a decisão de se utilizar ou não um novo combustível, estudos sobre o balanço energético do Biodiesel no Brasil, ainda não foram elaborados em grande extensão.

A decisão deve ser fundamentada levando-se em consideração a relação entre a energia disponibilizada pelo combustível produzido e a energia consumida no processo de produção. Esta relação é conhecida como balanço energético.

Estudos mostram que, para o etanol produzido no Brasil, a relação entre a quantidade de energia produzida pelo combustível e a quantidade de energia aplicada na agroindústria da cana-de-açúcar, fornece um valor de 8,30 enquanto que nos EUA o etanol tem uma relação 1,30 (NAE, 2005).

Para o Biodiesel foram efetuadas diversas avaliações do balanço energético considerando a utilização de várias matérias primas. Para o caso do Biodiesel de produzido a partir do óleo de soja, o balanço energético nos EUA indica uma relação de aproximadamente 2,00 enquanto que no Brasil, estudos do NAE (2005) apontam para o valor de 1,43.

Para o Biodiesel produzido a partir dos óleos dendê e a macaúba em condição brasileira, Martins e Teixeira (1985) apresentaram respectivamente, 5,63 e 4,20. Estes valores são muito interessantes e confirmam o potencial das palmáceas como fonte de matéria prima, tanto pela maior produtividade como pela relação positiva de produção por consumo de energia.

2.3.2.
Especificação Técnicas

A especificação do Biodiesel para uso comercial é essencial para o desenvolvimento de programas de Biodiesel. A estabilidade à oxidação e o número de cetano são parâmetros que merecem especial atenção. A estabilidade, sobretudo em climas quentes, é relevante para assegurar que, mesmo depois de algumas semanas de armazenamento em condições normais, o produto não tenha sido degradado. Já a cetanagem, explica Isaias Macedo (NAE, 2005), assegura a boa combustão nos motores.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

A Resolução ANP nº 42 (ANP, 2004) aplica-se ao Biodiesel B100, de origem nacional ou importada a ser comercializado no Brasil, que poderá ser adicionado ao óleo diesel para formar o Biodiesel B2. No entanto, as definições de qualidade ainda não estão bem sedimentadas. É importante também que as condições sejam estabelecidas não somente para o B2, mas também para outras misturas (Costa, 2005).

Costa (2005) cita que existem críticas aos critérios e padrões de qualidade definidos pela ANP, pois estes não atendem às especificações da UE e EUA. Ao se definirem os critérios e padrões nacionais, ocorreu alguma flexibilização para atender às características de matérias primas nacionais, o que se apresenta como uma possível inibição de exportação e investimento de grupos internacionais interessados neste segmento.

A determinação das características do Biodiesel foi feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais "*American Society for Testing and Materials*" (ASTM), da "*International Organization for Standardization*" (ISO) e do "*Comité Européen de Normalisation*" (CEN).

Os Estados Unidos utilizam a norma ASTM D 6751 (ASTM, 2002) para qualificar o Biodiesel B100. Atualmente a ASTM possui a norma citada para o B100 e a norma ASTM D 975 (ASTM, 2005) para o diesel. Não existe uma norma aprovada para os *blends* de Biodiesel até o momento, estando esta norma em fase de elaboração.

Os Biodiesel B5, e abaixo, geralmente têm suas propriedades enquadradas na norma ASTM D 975 (ASTM, 2005). Os B20 e acima podem, também, ter suas características enquadrando-se na ASTM D 975 (ASTM, 2005), com provável exceção da viscosidade (*DOE*, 2004). Segundo o DOE (2004), os fabricantes de motores diesel atestam que viscosidades mais altas do que as previstas na ASTM D 975 podem causar altas pressões nos sistema de bombeamento e uma atomização inadequada, o que pode resultar em queda de rendimento do motor.

2.3.2.1. Biodiesel B100 – Visão Nacional

Como já foi citado, é de responsabilidade da ANP (ANP, 2005) especificar e avaliar a conformidade da qualidade do Biodiesel. A avaliação de conformidade à resolução ANP nº 42 (ANP, 2004) é feita mediante análise de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

amostra obtida segundo métodos “ABNT NBR 14883 - Petróleo e produtos de petróleo - Amostragem manual” ou “ASTM D 4057 - Prática para Amostragem de Petróleo e Produtos Líquidos de Petróleo (*Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products*)” ou “ISO 5555 (*Animal and vegetable fats and oils - Sampling*)”.

A legislação obriga que a análise deva ser feita pelos Produtores de Biodiesel e os resultados enviados a ANP, considerando todas as características e métodos da especificação (ANP, 2004).

As características do combustível devem ser comparáveis à Tabela 02 e os métodos de ensaio devem ser executados de acordo com as publicações mais recentes dos métodos, apresentados nas tabelas presentes na Resolução ANP nº 42 (ANP,2004)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Tabela 02 – Especificação do Biodiesel B100 pela resolução ANP nº 42.
Fonte: Resolução ANP nº 42 (ANP, 2004)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20ºC	kg/m3	(2)	7148, 14065	1298, 4052	- , -
Viscosidade Cinemática a 40ºC,	mm2/s	(3)	10441	445	EN ISO 3104
Água e sedimentos, máx. (4)	% volume	0,050	-	2709	-
Contaminação Total	mg/kg	(6)	-	-	EN 12662
Ponto de fulgor, mín.	ºC	100,0	14598 -	93 -	- EN ISO3679
Teor de éster	% massa	(6)	-	-	EN 14103
Destilação; 90% vol. recuperados, máx.	ºC	360 (5)	-	1160	-
Resíduo de carbono dos 100% destilados, máx.	% massa	0,10	- -	4530, 189	EN ISO 10370, -
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	9842	874	ISO 3987
Enxofre total	% massa	(6)	- -	4294 5453	- EN ISO 14596
Sódio + Potássio, máx	mg/kg	10	- -	- -	EN 14108 EN 14109
Cálcio + Magnésio	mg/kg	(6)	-	-	EN 14538
Fósforo	mg/kg	(6)	-	4951	EN 14107

.

Corrosividade ao cobre, 3h a 50 ℃, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano	-	(6)	-	613	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	℃	(7)	14747	6371	-
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,80	14448	664	-
			-	-	EN 14104 (8)
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8) (9)
			-	-	EN 14106 (8) (9)
Glicerina total, máx.	% massa	0,38	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8) (9)
Monoglicerídeos.	% massa	(6)	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8) (9)
Diglicerídeos	% massa	(6)	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8) (9)
Triglicerídeos	% massa	(6)	-	6584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14105 (8) (9)
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,5	-	-	EN 14110 (8)
Índice de Iodo		(6)	-	-	EN 14111 (8)
Estabilidade à oxidação a 110℃, mín	h	6	-	-	EN 14112 (8)

Notas:

(1) LII – Límpido e isento de impurezas.

(2) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para massa específica a 20C constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.

(3) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para viscosidade a 40C constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.

(4) O método EN ISO12937 poderá ser utilizado para quantificar a água não dispensando a análise e registro do valor obtido para água e sedimentos pelo método ASTM D 2709 no Certificado da Qualidade.

(5) Temperatura equivalente na pressão atmosférica.

(6) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.

(7) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para ponto de entupimento de filtro a frio constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.

(8) Os métodos referenciados demandam validação para as oleaginosas nacionais e rota de produção etílica.

(9) Não aplicáveis para as análises mono-, di-, triglicerídeos, glicerina livre e glicerina total de palmiste e coco. No caso de biodiesel oriundo de mamona deverão ser utilizados, enquanto não padronizada norma da

.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT para esta determinação, os métodos: do Centro de Pesquisas da Petrobrás – CENPES, para glicerina livre e total, mono e diglicerídeos, triglicerídeos.

2.3.2.2.

Biodiesel B100 – Visão dos Estados Unidos

De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2004), as considerações para estocagem, manuseio e utilização do Biodiesel B100 são muito diferentes se comparadas com as misturas. De qualquer forma, o entendimento das propriedades do B100 pode ajudar na compreensão das características das misturas.

2.3.2.2.1.

Comparação das propriedades físico-químicas do Biodiesel B100 com o óleo Diesel nº 2

As propriedades físico-químicas do Biodiesel B100 são bem similares às do óleo diesel nº 2, como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 03 – Comparação entre propriedades do Diesel nº 2 e o Biodiesel B100. Fonte: U.S. Department of Energy, 2004

Propriedade	Unidade	Diesel (Norma ASTM D975)	Biodiesel (Norma ASTM D6751)
Poder calorífico inferior (PCI)	BTU/gal	~129.050	~118.170
Viscosidade cinemática	mm^2/s (@40^{0}C)	1,3~4,1	4,0~6,0
Peso específico	kg/L (@60F)	0,85	0,88
Densidade	Lb/gal (@15C)	7,079	7,328
Água e particulados	máxima % em volume	0,05	0,05
Carbono	Wt%	87	77
Hidrogênio	Wt%	13	12
Oxigênio	Wt%	0	11
Enxofre	Máxima Wt%	0,05	0,0 ~ 0,0024
Ponto de ebulição	^{0}C	180 ~ 340	315 ~ 350
Ponto de fulgor	^{0}C	60 ~ 80	100 ~ 170
Ponto de turvamento	^{0}C	-15 ~ 5	-3 ~ 12
Ponto de fluidez	^{0}C	-35 ~ -15	-15 ~ 10
Numero de cetano		40 ~ 55	48~65
Poder lubrificante SLBOCLE	Gramas	2.000~5.000	>7.000
Poder lubrificante HFRR	Microns	300 ~ 600	<300

Como acontece com outros combustíveis, o óleo diesel é classificado em 4 sub-categorias que diferem pela viscosidade. Enquanto o óleo diesel nº 4 é utilizado em motores lentos e de média velocidade, que operam a velocidade constante ou quase constante, os óleos Diesel número 1 e 2 são próprios para

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

aplicação de motores veiculares (King, 2006). O de número 3 não é mais refinado, segundo o autor.

As semelhanças entre o Biodiesel e o óleo diesel nº 2 possibilitam que, em alguns casos, o Biodiesel B100 possa ser utilizado em motores diesel convencionais sem qualquer modificação no motor ou no sistema de injeção.

Nos EUA, o limite máximo de teor de enxofre permitido no diesel nº 2 é 0,05%. Em 2006, o valor máximo regulado pela EPA (U.S. Environmental Protection Agency) será de 15ppm para utilização automotiva. Como pode ser visto pela tabela 03, o B100 (a maioria deles) já se enquadra nas novas regras do EPA.

Outro aspecto que pode ser observado é que o Biodiesel possui 11% em peso de oxigênio dissolvido e um número de cetano ligeiramente superior, o que favorece uma queima mais completa, reduzindo as emissões (DOE, 2004).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.2.2.2.

Especificação do Biodiesel B100 pela ASTM

Em Junho de 1994 foi formado um sub comitê na American Society for Testing Materials – ASTM para desenvolver a especificação do Biodiesel, a qual foi apresentada e aprovada preliminarmente em 1999. Em 2001 a versão final, D 6751, foi publicada (ASTM, 2002). O National Biodiesel Board (NBB, 2005) considera esta publicação como sendo o marco mais importante no desenvolvimento da indústria do Biodiesel.

Assim como as outras especificações de combustíveis na ASTM, a especificação D 6751 é baseada nas propriedades físico químicas necessárias para uma utilização segura e satisfatória.

Deve ficar claro que a especificação não é baseada no tipo de matéria prima utilizada nem do processo de produção. A especificação ASTM D 6751-03 define o Biodiesel como sendo "...alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, designado B100" (ASTM, 2003) e deve se enquadrar dentro das propriedades da tabela abaixo:

.

Tabela 04 – Propriedades do Biodiesel pela norma ASTM D6751.

Fonte: ASTM, 2003

Propriedade	Unidade	Limite	Método
Ponto de fulgor	℃	130.0 min.	D93
Água e particulados	% vol.	0.050 max.	D2709
Viscosidade cinemática, 40℃	mm^2/s	1.9 - 6.0	D445
Cinzas de sulfato	% massa	0.020 max.	D874
Teor de enxofre (1)	% massa	0.0015 max. (S15) 0.05 max. (S500)	D5453
Corrosão no cobre		No. 3 max.	D130
Número de cetano		47 min.	D613
Ponto de turvamento	℃	Reportar ao consumidor	D2500
Carbono residual	% massa	0.050 max.	D4530
Número de acidez	mg KOH/g	0.80 max.	D664
Glicerina livre	% massa	0.020 max.	D6584
Glicerina total	% massa	0.240 max.	D6584
Fosforo contido	% max.	0.001 max.	D4951
Temperatura de destilação, 90% Recuperado (T90) (2)	℃	360 max.	D1160

Notas:

(1) Limitado em 15 ppm a partir de 2006

(2) Temperatura atmosférica equivalente

Seguem abaixo alguns comentários sobre as características listadas na tabela 04:

a) Ponto de fulgor :

O ponto de fulgor de um combustível é a temperatura na qual dele se desprendem vapores que, em contato com o oxigênio presente no ar, podem entrar em combustão na presença de uma fonte de calor. O ponto de fulgor não tem relação direta (Torres et al, 2005) no desempenho do combustível, mas um valor mínimo deve ser estabelecido para garantir a segurança no armazenamento e manuseio do produto.

O uso de um combustível com ponto de fulgor muito baixo pode provocar problemas no pré-aquecimento, pois um volume excessivo de vapores pode causar pré-ignição.

O ponto de fulgor do B100 é fixado acima do ponto do diesel nº 2, para garantir que o produtor tenha removido o metanol (caso o Biodiesel tenha sido produzido por reação metílica) residual durante o processo de produção, ou seja a determinação de seu valor permite detectar contaminações com produtos mais leves. O metanol residual, que poderia ser eventualmente encontrado em um

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Biodiesel fora de especificação, poderia ser prejudicial à bomba de combustível e aos selos, e também poderia contribuir para uma queima irregular.

b) Água e sedimentos:

A contaminação por água pode contribuir para a elevação da acidez do Biodiesel, potencializando a corrosão não só nos tanques como também nos equipamentos e linhas, além de igualmente potencializar a formação de microorganismos.

Os particulados ou sedimentos podem levar ao bloqueio dos filtros dos motores, reduzindo a sua vida útil, contribuindo para diminuição da potência. Os sedimentos podem causar combustão não uniforme, pulsação da chama, etc.

c) Viscosidade :

A viscosidade é uma característica muito importante para os óleos combustíveis, pois fornece informações sobre a facilidade de movimentá-lo e transferi-lo nas instalações, na temperatura vigente, e também o grau de pré-aquecimento a que o óleo deve ser submetido para obter-se uma temperatura correta de atomização para uma combustão eficiente. Esta relação entre o preaquecimento do combustível e a atomização correta é fundamental na combustão em equipamentos industriais (Torres et al, 2005).

Uma viscosidade mínima é requerida por alguns motores por causa de possibilidade de perda de potência no mesmo devido a eventuais vazamentos em equipamentos como a bomba injetora e bicos injetores; ou mesmo se um combustível é excessivamente fino e pouco viscoso pode acarretar em uma quantidade excessiva de combustível sendo bombeada, causando combustão incompleta (Torres et al, 2005), e conseqüentemente, elevando a quantidade de emissões ambientais.

A viscosidade máxima é limitada pelo projeto do sistema de injeção do motor. Combustíveis de alta viscosidade acarretam, por exemplo, uma combustão pobre ocasionando formação de depósitos. O máximo valor permitido pela ASTM D975, ou seja para o diesel nº 2, é 4,1mm^2/s (@40^0C) embora muitos motores sejam projetados para operar com combustíveis mais viscosos. O Biodiesel, por ter viscosidade ligeiramente mais elevada do que o diesel, pode proporcionar, a um motor projetado para este último, esforços adicionais não desejados nos sistema de injeção, além de uma atomização inadequada o que resultará em uma queda de performance do motor. Em resumo, se um

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

combustível for demasiadamente viscoso, podem ocorrer os seguintes problemas:

- Dificuldade no bombeio do tanque para o motor;
- Quantidade insuficiente de combustível no motor;
- Atomização deficiente;
- Carbonização nos bicos e deposição nas paredes da câmara de combustão;

Vale, neste ponto, relembrar que a especificação da ANP não estabelece valores máximos ou mínimos para a viscosidade do Biodiesel. Sugere que os valores sejam estabelecidos apenas para misturas de óleo Diesel/Biodiesel a serem utilizadas e que deverá obedecer aos limites estabelecidos para o Diesel.

d) Cinzas sulfatadas:

De acordo com o U.S. Department of Energy (DOE, 2004), as cinzas são basicamente constituídas de sais inorgânicos, como óxidos metálicos de sódio ou potássio. Sua presença caracteriza resíduos do catalisador utilizado na produção do Biodiesel e que não foram corretamente removidos durante a purificação. A formação de cinzas pode contribuir para a formação de depósitos, prejudicando a performance do motor.

Quando em proporções elevadas, as cinzas podem fundir e causar a corrosão de alta temperatura nos metais.

e) Teor de enxofre:

A limitação do teor de enxofre nos combustíveis se justifica pelo controle das emissões de óxidos de enxofre, que por sua vez estão relacionados com as chamadas “chuvas ácidas”.

O enxofre está presente na maioria dos combustíveis, principalmente nos derivados do petróleo. De acordo com Torres et al. (2005), os óxidos de enxofre formados na combustão geralmente não causam problemas de corrosão, contanto que todas as superfícies em contato com os gases de combustão sejam mantidas a uma temperatura acima do ponto de orvalho do ácido sulfúrico, evitando-se, assim, a condensação de ácidos corrosivos.

Na combustão, o enxofre se converte nos óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3). Estes se combinam com vapor de água formando ácido sulfúrico que se condensa sobre as superfícies metálicas que estejam a uma temperatura inferior a do ponto de orvalho do ácido, causando corrosão em baixas temperaturas,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

resultando em uma redução de eficiência térmica do motor e diminuição de sua vida útil.

Em relação ao meio ambiente, o enxofre promove poluição atmosférica, quando os óxidos de enxofre são emitidos para a atmosfera. Em muitos países, a legislação vigente em relação ao teor de enxofre é rigorosa, o que obriga os refinadores a empregarem técnicas especiais como a hidrodessulfurização.

Neste aspecto, Pahl (2005) explica que o Biodiesel, por não ser origem mineral, além de ser livre de chumbo, contém teores insignificantes de enxofre e aromáticos (benzeno, tolueno, etc).

f) Corrosão no cobre:

Este teste indica a compatibilidade do Biodiesel com componentes de sistemas de injeção fabricados em cobre ou bronze. Os requerimentos deste teste para o B100 são idênticos ao diesel.

g) Número de cetano:

Um número de cetano adequado é requerido para uma boa performance do motor, isto é, garante boas características para partir a frio e minimizar formação de fumaça branca. O número de cetanos limitado pelo ASTM para o B100 é 47 (DOE, 2004), que equivale ao valor para o "Diesel Premium" nos Estados Unidos.

h) Ponto de Névoa:

O ponto de névoa é a temperatura na qual se pode observar visualmente o primeiro cristal em uma amostra de combustível quando ela é resfriada sob condições definidas pela especificação ASTM D2500. Esta, segundo o U.S. Department of Energy (2004), é a medida da propriedade mais conservadora em relação às propriedades para utilização do combustível em climas frios. A maioria dos combustíveis podem ser utilizados, sem grandes problemas, a temperaturas abaixo da temperatura de névoa mas acima da temperatura de entupimento de filtro – CFPP. A CFPP é a temperatura na qual a aglomeração de cristais é tão grande que ocasiona o entupimento nos filtros. O ponto de névoa para o B100 é tipicamente mais alto do que o do diesel convencional, o que é importante para garantir o desempenho do motor a baixas temperaturas.

Alguns autores, (Torres et al, 2005) entre outros, consideram que a propriedade que melhor descreve um combustível sendo utilizado a baixas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

temperaturas é ainda inferior à CFPP. Este ponto é o chamado ponto de fluidez. Outros autores (DOE, 2004) consideram que a determinação do ponto de fluidez é de pequeno valor prático, uma vez que em uma instalação, caso ocorresse um entupimento de filtro pelos cristais do combustível, ainda não se teria chegado no ponto de fluidez do combustível.

As características acima são de maior importância para países de climas mais rigorosos, o que não é o caso do Brasil, mesmo porque, ao se diluir o Diesel com Biodiesel, formando uma mistura, que é o foco da utilização do Biodiesel no Brasil, aquelas características estariam atenuadas. O Biodiesel Handling and Use Guidelines (DOE, 2004) sugere os seguintes valores para alguns B100:

Tabela 05 – Pontos de interesse para utilização de biodiesel em baixas temperaturas.
Fonte: U.S. Department of Energy, 2004

Biodiesel	Ponto de Turvamento (^{0}C)	Ponto de Entupimento (^{0}C)	Ponto de Fluidez (^{0}C)
Biodiesel de soja, rota metílica	3	-2	-4
Biodiesel de colza (canola), rota metílica	-3	-4	-4

A tabela 05 comprova que, dependendo da região onde for utilizado o Biodiesel e da época do ano, deve-se tomar cuidados especiais no transporte e na armazenagem.

i) Carbono residual:

O valor do carbono residual indica uma tendência de depósito de carbono no combustível e uma aproximação da tendência de formação de depósitos a ser formado no motor (Torres et. al, 2005).

j) Número de acidez:

O número de acidez é primariamente uma indicação de que o Biodiesel está livre de ácidos provenientes da degradação natural de óleos e gorduras que formaram o Biodiesel. O U.S Department of Energy (DOE, 2004) alerta que o número de acidez alto indica que a produção do Biodiesel não foi feita de maneira adequada ou que o produto final degradou por oxidação.

k) Glicerina total e livre:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

A remoção incompleta de glicerina na fase de produção do Biodiesel aumentará o número de glicerina total e livre aumentando portanto principalmente a viscosidade do Biodiesel. Se estes números forem altos, poderão resultar em resíduos no tanque de armazenagem, no sistema de combustível e no motor. Combustíveis que excedem os limites das normas são mais propensos a causar entupimento nos filtros, entre outros problemas.

l) Fósforo contido:

O Biodiesel produzido nos EUA geralmente apresenta presença de fósforo em níveis inferiores a 1ppm, embora este valor seja limitado a 10ppm. O fósforo pode danificar elementos do catalisador.

m) Destilação T90:

Este parâmetro foi introduzido para garantir que o Biodiesel não esteja contaminado com substâncias indesejadas (DOE, 2004).

2.3.2.2.3.

Biodiesel B2, B5 e B20 – Visão dos Estados Unidos

Misturar Biodiesel ao diesel derivado de petróleo tem por finalidade minimizar as diferenças de propriedades entre estes combustíveis, integrando benefícios de ambos, onde podem ser citados os benefícios ecológicos do Biodiesel e econômicos e físicos do derivado mineral.

Segundo o U.S. Department of Energy (2004) a mistura mais popular nos países desenvolvidos é a B20, por representar um bom compromisso entre custo, emissões, propriedades físicas para baixas temperaturas e compatibilidade de materiais.

A mistura B20 não causa grandes problemas em relação a entupimento de filtros e formação de depósitos provenientes de combustão irregular ou dissolvidos pelo Biodiesel, que por ventura poderiam estar depositados no tanque de estocagem.

Para o B20 e misturas em menores concentrações, ficam minimizados os aspectos negativos associados à compatibilidade de materiais.

A experiência de mais de 10 anos de utilização de B20 nos Estados Unidos, indicam compatibilidade como todos os componentes de um motor

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

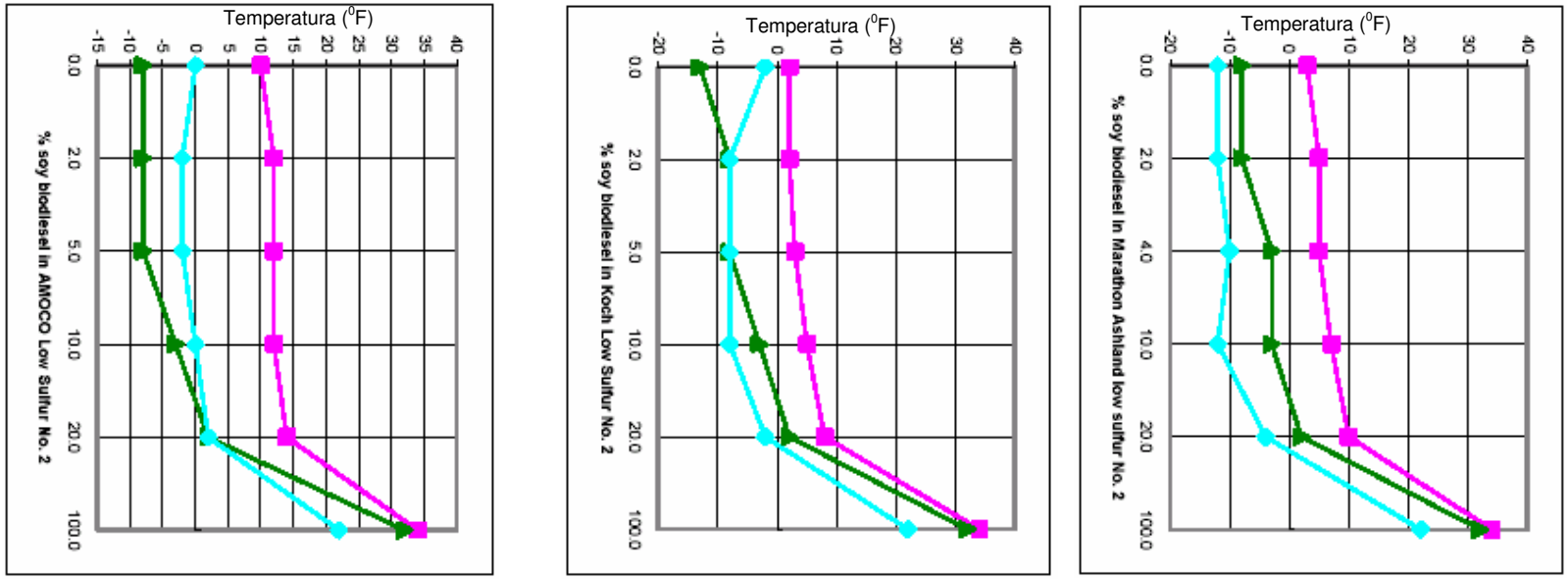
Diesel, inclusive com aqueles não compatíveis com misturas com alta concentração de Biodiesel ou mesmo o B100 (DOE, 2004).

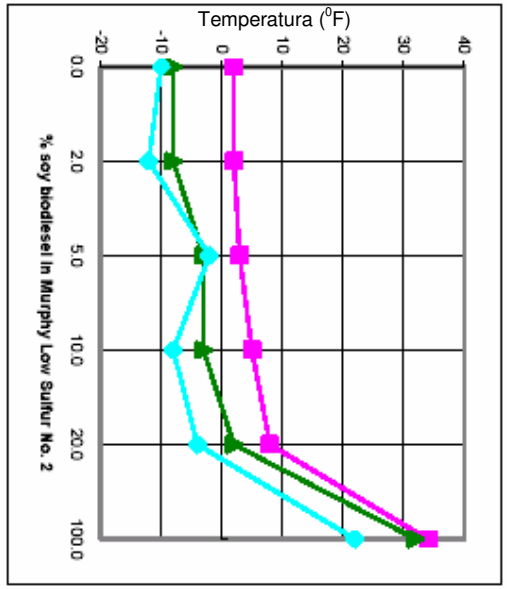
Comparando com o Biodiesel puro (B100), o B20 possui maior estabilidade, o que resulta numa maior vida de estocagem. A especificação ASTM D4625 sugere que a maioria dos tipos de Biodiesel B20 possa ser estocado por um período de 8 a 12 meses. Porém, o National Biodiesel Board recomenda que o B20 deva ser utilizado dentro de 6 meses a partir da sua produção. Vale lembrar que alguns fornecedores de óleo diesel nos EUA recomendam que o derivado do petróleo deva ser utilizado em um período não superior a 4 meses (DOE, 2004). Mesmo evidenciando que a estabilidade do B20 é comparável a do Diesel, o uso de antioxidantes e aditivos no biodiesel é recomendado quando este for ser estocado por longos períodos.

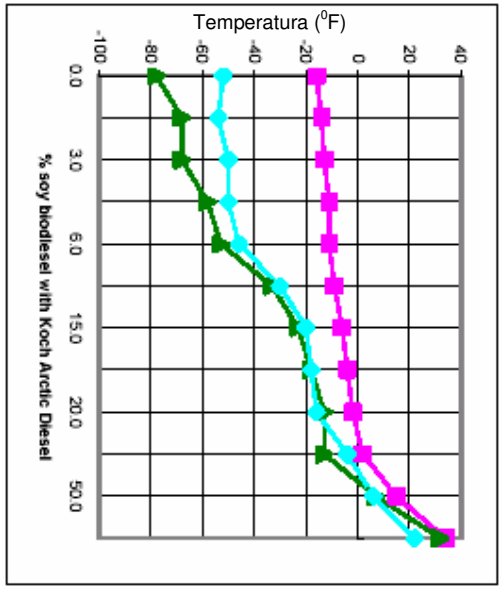
Como foi visto anteriormente, uma das maiores preocupações na esfera tecnológica é quanto ao uso do combustível em climas frios. Diluindo-se o Biodiesel no Diesel mineral minimiza-se este efeito negativo além de possibilitar uma ação mais efetiva dos aditivos que por ventura foram adicionados na mistura, devido à considerável presença de Diesel na mistura.

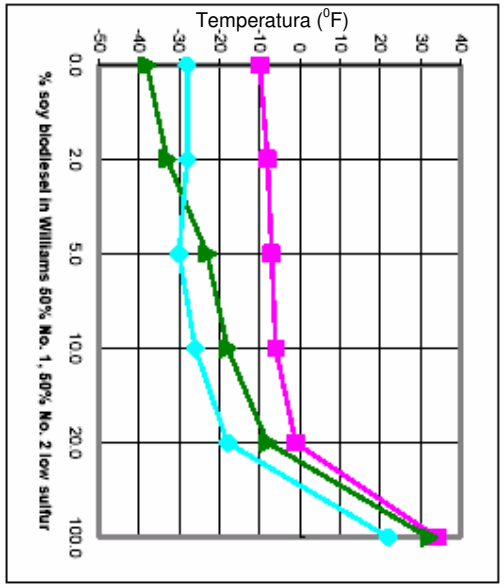
A Universidade de Minessota (University of Minnesota Center for Diesel Research) testou Biodiesel B20 de soja produzido a partir de diversos fornecedores de Diesel disponíveis na região. O resultado foi publicado pelo U.S Department of Energy (DOE, 2004). Os gráficos abaixo mostram o comportamento das propriedades relevantes (ponto de névoa, ponto de entupimento e ponto de fluidez) para regiões de baixas temperaturas e como elas variam muito também fixando o Biodiesel e modificando o derivado do petróleo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA


Temperatura (0F)
% soy biodiesel in Marathon Ashland low sulfur No. 2
Temperatura (0F)
% soy biodiesel in Koch Low Sulfur No. 2
Temperatura (0F)
% soy biodiesel in AMOCO Low Sulfur No. 2


Temperatura (0F)
% soy biodiesel in Murphy Low Sulfur No. 2


Temperatura (0F)
% soy biodiesel with Koch Arctic Diesel


Temperatura (0F)
% soy biodiesel in Williams 50% No. 1, 50% No. 2 low sulfur

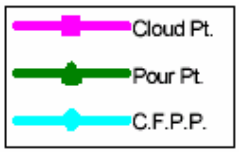


Figura 09: Variação do ponto de névoa (cloud point), do ponto de entupimento (C.F.P.P.) e do ponto de fuidez (pour point) para diferentes concentrações de Biodiesel.
Fonte: U.S. Department of Energy, 2004

O ponto de névoa (Cloud Point), como já foi descrito, é a temperatura na qual se pode observar o primeiro cristal em uma amostra de combustível quando ela é resfriada. O Pour Point é a temperatura que na qual existem aglomerados de cristais em tal quantidade que o fluido pode ser considerado um gel e por isso não mais vai escoar como líquido Newtoniano. O CFPP (Cold Filter Plug Point) é a temperatura na qual os cristais se aglomeraram em quantidade suficiente para causar entupimento no filtro de teste.

Em relação às emissões provenientes da queima de uma mistura de Biodiesel, pode ser visto, pelo gráfico abaixo, que emissões de NO_x crescem lentamente com o aumento na concentração de Biodiesel na mistura, enquanto que as emissões de CO, HC e material particulado (PM) diminuem consideravelmente com este aumento na concentração de Biodiesel.

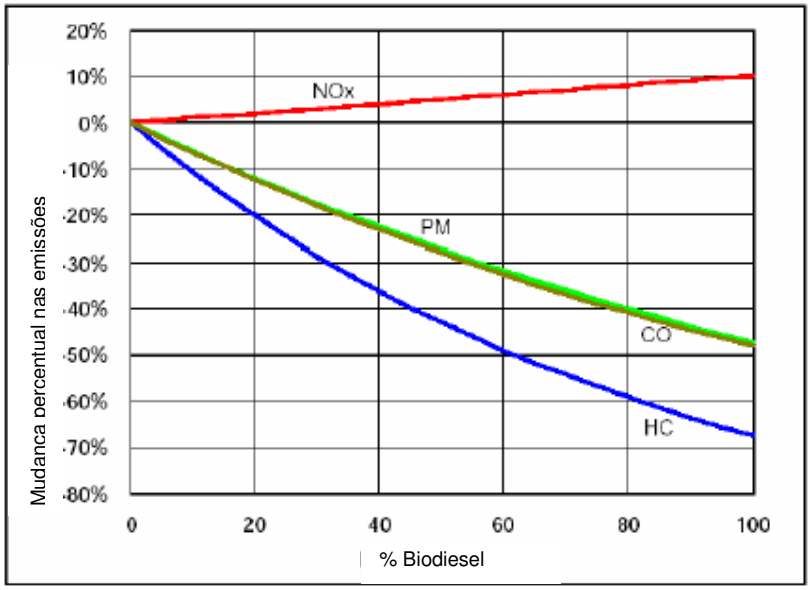


Figura 10: Variação nas emissões de poluentes para diferentes concentrações de Biodiesel.
Fonte: U.S. Department of Energy, 2004

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.2.3.
Mistura Para Formação dos *Blends*

Até recentemente, nos EUA, os volumes de misturas utilizados não eram grandes o suficiente para que se viabilizasse economicamente a utilização da infra-estrutura dos distribuidores de derivados de petróleo. Grande parte do B20 utilizado era misturada pelo usuário após recebimento do B100 de um fornecedor. Com o aumento da demanda de B20, os consumidores passaram a receber a mistura já preparada por empresas convencionais do ramo de derivados de petróleo. Com isto, estes últimos ficaram responsáveis por receber e estocar o B100, fazer a mistura com o diesel e então fornecer o *blend* ao consumidor final.

Assim como nos EUA, outros paises desenvolvidos, onde o programa de Biodiesel está em um estado mais avançado, os usuários podem adquirir Biodiesel B20 e outras misturas de menores teores diretamente de distribuidores. Desta forma garantem que a mistura foi corretamente misturado, estocado e transportado.

Fazer a mistura independentemente ou comprá-la já pronta depende de vários fatores, entre os quais podem ser citados: o volume necessário de B100 para se fazer a mistura, o teor final do Biodiesel desejado, disponibilidade dos equipamentos necessários, espaço disponível para produção, além dos custos operacionais da produção da mistura.

Misturas de Biodiesel podem ser produzidas de diferentes maneiras. O U.S. Department of Energy (2004) cita as mais populares:

a) *Spash Blending*:

É a operação onde tanto o Biodiesel quanto o Diesel são carregados separadamente no tanque que será utilizado para transporte do *blend*. A relativa mistura dos elementos somado com o movimento do caminhão ou trem já é o suficiente uma mistura dos componentes; vale lembrar que, quando o transporte ocorre a temperaturas relativamente baixas, esta agitação somente pode não ser suficiente para uma boa mistura.

b) *In-tank Blending*:

É uma operação semelhante à acima descrita, sendo que nesta a vazão de enchimento do reservatório é alta, gerando certa turbulência e garantindo que

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

eles sejam misturados de maneira satisfatória já no enchimento, sem a necessidade de misturadores eletromecânicos, recirculação ou mesmo de contar com a agitação do transporte (*spash blending*).

c) *In-line Blending*:

É a operação na qual o Biodiesel é adicionado diretamente à linha de distribuição de Diesel. O escoamento turbulento garante a boa mistura dos componentes da mistura.

Esta operação é semelhante à operação de adição de aditivos nos derivados de petróleo nos dias de hoje.

Por esta operação exigir investimentos em equipamentos para o sistema de injeção, não é utilizada por pequenos usuários, apesar de ser a operação mais eficiente de todas.

Como pode ser visto dos itens (a), (b) e (c), acima, não é difícil de preparar a mistura. O que deve ser levado em consideração, segundo o U.S. Department of Energy (DOE, 2004), é que o Biodiesel, por ser mais pesado do que o Diesel se, no ato do enchimento, for transferido primeiro para o tanque, seguido o Diesel, a mistura pode não resultar de maneira satisfatória.

E uma vez que a mistura não tenha sido feita corretamente e por ser o Biodiesel mais pesado, este vai permanecer no fundo do tanque. Como as bombas de transferência succionam desta seção do tanque, o produto bombeado terá uma concentração de Biodiesel acima da desejado.

Adicionalmente considerando que o Biodiesel é um ótimo solvente, se no fundo do tanque ocorrer esta alta concentração de Biodiesel e no tanque existirem sedimentos depositados, estes serão dissolvidos e carregados no bombeamento em direção aos filtros, eventualmente entupindo-os. Para se evitar tais transtornos, basta ter em mente que quanto mais agitada sua entrada no tanque melhor será a mistura. Caso contrário, deve-se dispor de agitadores mecânicos no tanque

2.3.3.

Processo de produção

Quatro métodos têm sido estudados e praticados para se utilizar óleos vegetais em motores ciclo diesel, sem grandes modificações nestes:

a) Mistura com Diesel;

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

b) Craqueamento térmico, também conhecido como pirólise;

c) Microemulsificação;

d) Transesterificação;

A transesterificação é de longe o método mais utilizado (Knothe et al, 2005) e somente este processo produz o que é conhecido como Biodiesel, i.e., um mono-alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, e por isso será o único descrito neste trabalho.

A transesterificação, também chamada de alcóolise, é a troca de um álcool de um éster por um outro álcool na presença de um catalisador

Os álcoois que podem ser utilizados são o metanol, etanol, propanol, butanol ou álcool amílico. O mais comum é a utilização da rota metílica, uma vez que o metanol é o álcool mais barato na maioria dos países, com poucas exceções, como no Brasil, que possui forte tradição de produção do etanol .

A reação de transesterificação pode ser catalisada por álcalis, ácidos ou enzimas, e é o processo utilizado pelos Estados Unidos e Europa para produzir Biodiesel. Esta reação também é utilizada na produção de ésteres metílicos para aplicações na indústria de cosméticos e detergentes.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.3.1.
Parâmetros para a reação de transesterificação

Os parâmetros mais relevantes para a reação de transesterificação são:

a) Concentração de ácidos graxos livres no óleo:

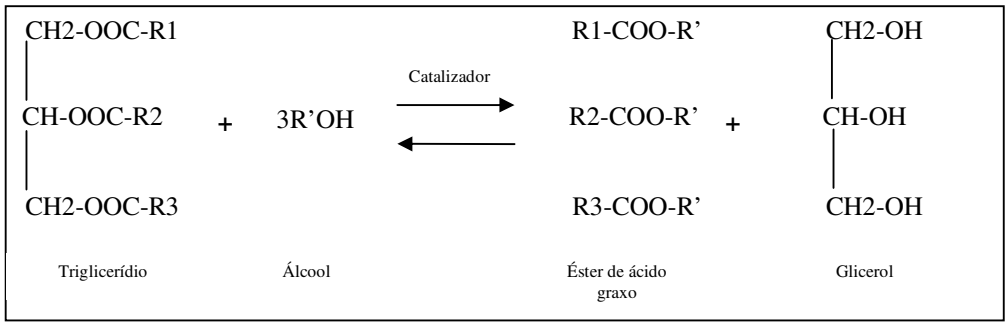
É fator importante na reação quando ela for catalisada por NaOH, pois será maior seu requerimento para neutralização. O conteúdo de água nos reagentes deve ser baixo, pois podem ser formados sabões no processo, o que aumenta a viscosidade final do produto e dificulta a separação final do glicerol (Macedo e Macedo, 2004).

b) Efeito da reação molar:

Este fator está associado ao tipo de catalisador utilizado, por exemplo, na catálise ácida de butanol com óleo de soja necessita-se de uma relação de 30:1, enquanto que na catálise alcalina a relação é de 6:1 para se atingir a mesma taxa de produção (Macedo e Macedo, 2004).

.

A reação estequiométrica de transesterificação requer 3 moles de álcool por mol de triglicerídeos, para render 3 moles de éster e um mol de glicerol. A reação abaixo, apresentada por Macedo e Macedo (2004), é a equação geral da transesterificação de triglicerídeos com álcool, onde R1, R2, R3, R' representam os grupos de alquila.



Estudos mostram que alta relação molar resulta em maior obtenção de ésteres em menor tempo de uma reação, sendo porém liberada maior quantidade de glicerol (Macedo e Macedo, 2004). Óleos de soja, girassol, amendoim, algodão e palma, por exemplo, apresentam maiores taxas de conversão com o aumento da reação molar entre o triglicerídeos e o álcool. Em processos industriais, para se obter éster metílicos com taxas de 98% de conversão a relação molar de 6:1 é geralmente a mais usada (Macedo e Macedo, 2004).

c) Tipos de catalisadores:

Os tipos de catalisadores possíveis são os ácidos (H_2SO_4, HCl, derivados de H_2PO_4) alcalinos (KOH, NaOH) ou enzimas (lipases).

As reações mais rápidas são as que utilizam catalisadoras alcalinas, aproximadamente 4000 vezes mais rápidas e por isso as mais empregadas comercialmente. Macedo e Macedo (2004) citam que foi observado que, embora a catálise alcalina resulte em altas taxas de conversão quando se trata de curtos tempos de reação, este processo apresenta alguns inconvenientes, como, por exemplo, apresentar altos gastos energéticos, necessidade de se tratar à água alcalina residual, remover o catalisador, recuperar de maneira difícil e demorada o glicerol entre outros.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

As reações que utilizam catalisadores ácidos são indicadas quando o óleo possui alto teor de água ou ácido graxo livre, conforme descrito no item (a) desta relação de parâmetros.

Estudos para se empregar catalisadores enzimáticos começaram a ser publicados na década de 90. Esta tecnologia tem demonstrado grande potencial na transesterificação de óleos vegetais. Segundo Macedo e Macedo (2004), as reações utilizando catalisadores enzimáticos podem utilizar vários tipos de álcoois e têm apresentado altas taxas de conversão e evidentes vantagens ambientais como menor gasto energético, mais fácil recuperação dos produtos e menor quantidade de glicerol como subproduto. Frente a estas vantagens, justificam-se investimentos em pesquisa e desenvolvimento para esta tecnologia para ser implantada no Brasil.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.4.
Principais Matérias Primas para Produção de Biodiesel

Embora existam diversas matérias primas capazes de produzir o Biodiesel, a partir tanto dos óleos vegetais quanto das gorduras animais e dos resíduos de fritura, a experiência internacional na produção de Biodiesel é concentrada no uso de óleo de canola, girassol e soja (Pahl, 2005). Verifica-se, porém, principalmente na Áustria e nos Estados Unidos, uma forte iniciativa em usar óleo residual de fritura (Costa, 2005).

A figura abaixo mostra a distribuição da utilização de óleos vegetais para se transformar em Biodiesel no nível mundial:

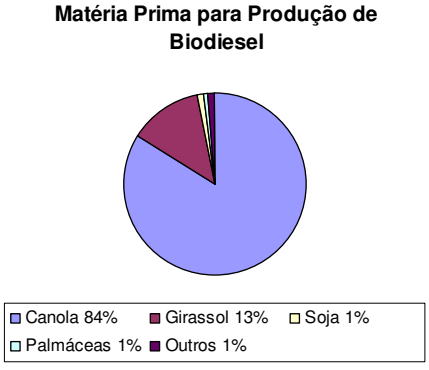


Figura 12: Distribuição da utilização de óleos vegetais para se transformar em Biodiesel.
Fonte: Biodiesel, Growing a New Energy Economy, Pahl, 2005

.

Na Europa, a produção de Biodiesel é originada principalmente da colza, que é uma couve comestível e é conhecida também pelo nome de canola ou *rapessed*. Pahl (2005) cita que a canola representa aproximadamente 84% das matérias primas para a produção de Biodiesel, embora sua produtividade de óleo por hectare plantado (1.190 litros por hectare) fique atrás de outras fontes como o côco (2.689 litros por hectare) e as palmáceas (5.950 litros por hectare).

As palmáceas, onde se enquadra o óleo de dendê, aparecem no topo da lista de produtividade por área plantada embora outros fatores inibam investimentos nesta matéria prima, como o tempo de maturação da planta, e o alto valor do ponto de névoa, o que torna o Biodiesel desta matéria prima não atraente para paises de clima frio (Pahl, 2005).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.3.4.1. Principais Matérias Primas para Produção de Biodiesel no Brasil

Para a escolha da matéria prima para se produzir o Biodiesel, deve se levar em conta diversos fatores como, por exemplo, a aptidão regional ao cultivo. De uma forma geral, a EMBRAPA (Peres, 2003) tem sugerido a soja para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a mamona para o Nordeste e o dendê para a região Amazônica, embora não sejam desconsideradas outras fontes de matéria prima para produção de Biodiesel com o girassol, o amendoim e até mesmo o abacate.

Há correntes que são contra o uso de óleos alimentícios, como óleo de soja ou o óleo de dendê, para a produção de combustível. No Brasil, a produção de Biodiesel proveniente de óleo de mamona não sofreria estas críticas.

2.3.4.1.1. Mamona

A mamona tem sido cultivada na região nordeste, principalmente na Bahia, que segundo o NAE (2005), é responsável por 60% da produção regional. Pesquisas agronômicas do EMBRAPA têm demonstrado que, conservadoramente, o rendimento da mamona é estimado entre 500 e 1000 kg de óleo por hectare plantado. A produção de óleo de mamona atualmente no Brasil é de aproximadamente 50 mil t/ano, considerando um teor de óleo de 48%; como mostra a figura 12:

.

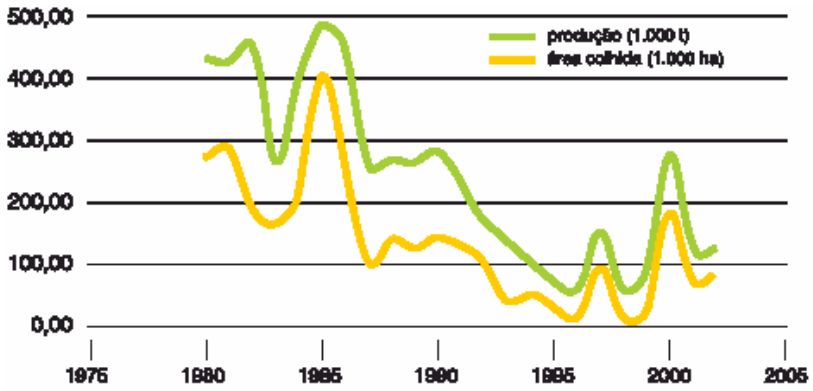


Figura 12: Produção anual de mamona no Brasil.
Fonte: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE), 2005.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

É fato que a mamona tem sido indicada como uma das poucas opções agrícolas rentáveis para as regiões árido e semi-árido do Nordeste. Não se pode deixar de destacar que a produção de óleo de mamona advém primariamente de pequenos produtores, com até 15 ha de área plantada, mas que, para se atender a um programa agressivo de produção de Biodiesel, as escalas de produção deverão ser muito maiores.

2.3.4.1.2. Soja

O cultivo da soja no Brasil, de acordo com dados da EMBRAPA (NAE, 2005), ocupa uma área de mais de 20 Mha e cerca de 70% da produção é destinada à exportação. Em 2003 foram produzidos 5,4 Mt de óleo de soja, devido à produtividade de 2,8 t/ha e ao teor de óleo situar-se entre 18 e 20% do peso dos grãos.

2.3.4.1.3. Dendê

A produção de óleo de dendê no mundo cresce em ritmo muito acelerado. Estima-se que, pela tendência atual, a produção deste óleo ultrapasse a produção de óleo de soja no final da década.

O Brasil é freqüentemente citado como possuidor do maior potencial de áreas com aptidão do mundo para o plantio do dendê, embora hoje produza

apenas 0,5% do total mundial, algo em torno de 0,1 Mt de óleo (NAE, 2005), enquanto que a Malásia ocupa a primeira posição no ranking, com 11,2 Mt de óleo produzido anualmente.

2.3.5.
Aspectos tecnológicos sobre a substituição de Diesel por Biodiesel

Atualmente não existem grandes barreiras tecnológicas para se substituir o Diesel mineral pelo Biodiesel. Os maiores impedimentos estão relacionados a aspectos mais financeiros do que tecnológicos (GTI, 2003).

A MAN B&W executou diversos testes em motores para comparar o comportamento dos mesmos operando com combustíveis tradicionais e com biocombustíveis, entre eles Biodiesel. A partir dos resultados dos testes, realizados desde 1994 até 2004, Carranca (2005) pode concluir que motores de média velocidade são os mais indicados para se utilizar biocombustíveis. Os testes também mostraram que não ocorreram mudanças significativas na performance dos motores, assim como nas emissões dos principais poluentes, a exceção do NO_x. O trabalho, apresentado pela MAN B&W, cita que testes para motores de menor porte, os chamados Diesel rápidos, apresentam problemas quando utilizam Biodiesel a concentrações superiores a 5%. Tais problemas, como perda de potência, vazamento, corrosão, entupimento, formação de depósitos e etc, estão relacionados às dificuldades que se tem para manuseio, transporte e estocagem de tais biocombustíveis, maior viscosidade e menor poder calorífico.

Este último aspecto é extremamente importante, principalmente quando da utilização em plantas de geração de energia elétrica. Segundo Carranca (2005), o consumo em um grupo moto-gerador de 1MW de potência utilizando Biodiesel, pode chegar a 2.000 toneladas anuais.

Generalizando, os biocombustíveis podem ser estocados e transportados de uma maneira similar a combustíveis convencionais e são particularmente seguros para manuseio, pois são estáveis, não tóxicos e possuem pontos de fulgor relativamente altos (DOE, 2004). A substituição do Diesel pelo Biodiesel B100, do ponto de vista dos aspectos tecnológicos, deve ser feita com alguns cuidados, a saber:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

a) O B100, por ser um bom solvente, pode dissolver particulados depositados no tanque de combustível e no sistema de alimentação de combustível, carregando-os para a câmara de combustão.

b) A maioria dos B100 começa a atingir o ponto de névoa a temperaturas frias não severas. Devem, portanto, ser previstas linhas de alimentação e/ou tanque providos de dispositivo de aquecimento mesmo para países de clima moderado. Acredita-se que, atualmente, nos países de clima frio, esta questão seja a mais importante barreira tecnológica para se utilizar o Biodiesel.

À temperatura próxima do ponto de névoa, serão formados cristais que se depositarão no fundo do tanque formando um gel. Tanques de armazenamento providos de agitadores mecânicos podem ser bastante úteis, pois a agitação no combustível ajudará a dissolver novamente os cristais na solução. O U.S. Department of Energy (DOE, 2004) cita que alguns fabricantes de aditivos mostram que, adicionando aditivos ao Biodiesel, a temperatura de névoa é reduzida em até 12^0C para altas dosagens de aditivos (10.000ppm), e em até 3^0C, para dosagens menos severas (1.000ppm).

c) O Biodiesel B100 não é compatível com alguns tipos de borrachas (buna N, borracha natural, etc), normalmente utilizadas em algumas mangueiras e gaxetas. Isto pode causar degradação de componentes em um motor, vazamentos, danos à bomba de combustível, entupimentos dos filtros etc. Existem no mercado motores totalmente resistentes ao Biodiesel. A Wärtsila do Brasil, por exemplo, está autorizada a comercializar todos os seus moto-geradores utilizando Biodiesel B100. O mesmo fornecedor já conta, em seu *track-record*,com mais de 164MW instalados na Europa a partir da utilização de B100.

d) O U.S. Department of Energy (DOE, 2004) alerta que o Biodiesel B100 não é compatível com alguns metais e plásticos. Os metais incompatíveis são cobre (e suas ligas como bronze), chumbo, estanho e zinco. Normalmente motores diesel não contém estes metais mas, no caso de ocorrer, o Biodiesel em contato por longo período com estes materiais pode formar sedimentos que entupirão filtros, entre outros problemas. O Biodiesel também não é compatível com alguns tipos de plástico como polietileno e polipropileno, o que atinge e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

restringe principalmente os recipientes de estocagem e transporte de pequenas quantidades de combustível.

2.3.6.
Aspectos sobre transporte e estocagem

O Biodiesel pode utilizar os mesmos recursos de transporte e estocagem utilizados para o Diesel. Deve-se tomar cuidado, no entanto, com a incompatibilidade do Biodiesel com alguns equipamentos ou acessórios de borracha ou plástico (i.e borrachas de vedação, mangueiras, etc) conforme já descrito.

Quanto à logística de suprimento de Biodiesel, devem ser levadas em consideração as distâncias entre as áreas de plantio, de produção do óleo, de produção do Biodiesel, de mistura com o Diesel e os centros de consumo. Para um país com as dimensões do Brasil, a minimização dos custos de transporte se torna fundamental e inclusive deve-se realizar estudos de avaliação da frota de caminhões-tanque disponíveis no mercado.

É de comum entendimento que a mistura do Biodiesel no Diesel deva ser feita pelas distribuidoras de combustíveis, assim como acontece no caso da adição de álcool anidro à gasolina. Fica evidente que, neste caso, minimizando os agentes autorizados a realizar a mistura, menores são as chances de fraude, mas, por outro lado, maiores os custos de transporte. O GTI (2003) destaca que o mercado de combustíveis já dispõe de uma infra-estrutura de logística para o suprimento de combustíveis que é capaz de atender à implementação de um programa de uso de Biodiesel. No entanto, sugere que, sobre o aspecto de estocagem, deva ser avaliada a necessidade de ampliação do parque de tancagem das distribuidoras de combustível, assim como a adequação das instalações para esta nova atividade.

Com base na minimização dos agentes envolvidos a fim de favorecer o controle da qualidade e o controle tributário, o Programa de Engenharia de Transportes da COPPE (Ribeiro et al, 2004) sugere um modelo de comercialização do Biodiesel, sintetizado na figura 3:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

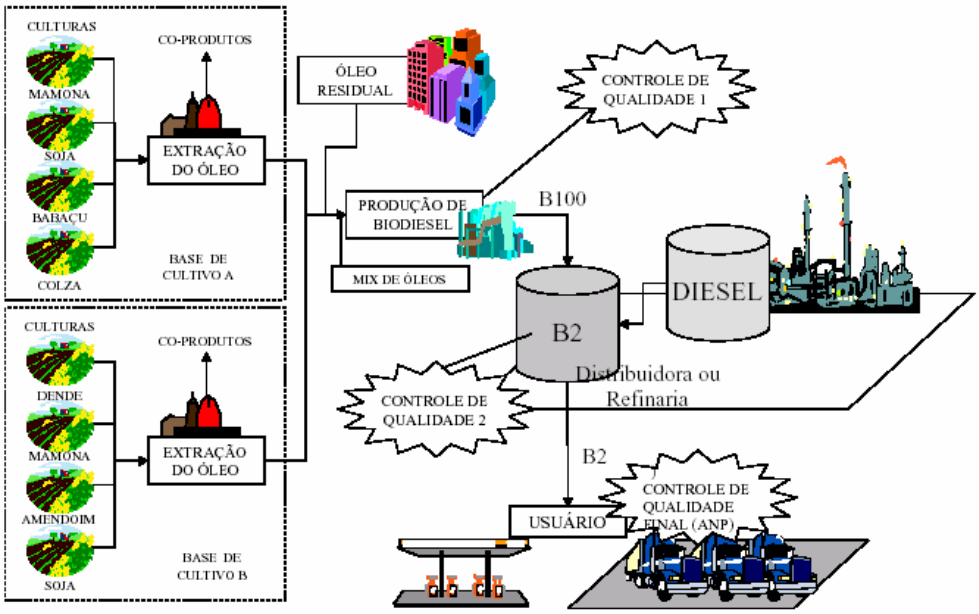


Figura 13: Modelo proposto de comercialização do Biodiesel.

Fonte: Ribeiro et al (2004)

No estudo é sugerido, por uma questão logística, que as plantas de produção de Biodiesel sejam instaladas o mais próximo possível das refinarias, ou das grandes bases de distribuição de Diesel (Ribeiro et al, 2004). O modelo sugerido buscou conciliar a experiência internacional de comercialização de Biodiesel e a experiência nacional na comercialização do etanol. Os autores acreditam que o modelo deva ser capaz de contemplar uma grande variedade de matérias-primas e ainda garantir a qualidade final do produto comercializado. Por esta razão o modelo é baseado na cadeia de comercialização de pequena flexibilidade (Ribeiro et al, 2004), ou seja, minimizando o número de transações entre os agentes da cadeia de comercialização.

2.4.

Aspectos Econômicos sobre o Biodiesel

Na Europa e nos Estados Unidos o custo do Biodiesel é, hoje, de uma e meia a três vezes maior do que o diesel mineral (GTI, 2003) e não há previsão de reduções importantes desse custo no futuro próximo.

A utilização do Biodiesel deve, portanto, ser justificada por outros aspectos positivos tais como menor impacto ao meio ambiente, geração de emprego,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

desenvolvimento sustentável, diminuição da dependência de derivados de petróleo entre, outros.

O NAE (2005) relata que a mamona parece ser um caso de difícil viabilização comercial para fins de Biodiesel, uma vez que o óleo de mamona tem alto valor de mercado, com ganhos bem superiores aos da produção de Biodiesel. Além do mais, a alta viscosidade o Biodiesel proveniente desta matéria prima poderia inibir a exportação do produto.

Simulações feitas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC (GTI, 2003) permitem obter estimativas preliminares dos custos de produção de Biodiesel, derivado de diversas matérias primas. Tais simulações levaram em consideração os valores referentes ao custo da produção do óleo vegetal, o transesterificação do óleo vegetal, a receita dos derivados (farelo, tortas e glicerina gerados nos processos) e a tributação incidente.

O resultado do estudo do MDIC (ver apêndice E) conclui que o Biodiesel tornar-se-ia muito atrativo para o consumidor final caso o produto sofresse isenção tributária, o que, por parte da União e pelos Estados, resultaria numa perda de arrecadação.

Estudos de viabilidade técnico-econômica devem ser realizados exaustivamente, para acompanhar a evolução tecnológica dos processos de produção, dos preços praticados no mercado das matérias primas, (que tendem a cair com o aumento de oferta) das receitas geradas pela venda dos derivados, e assim por diante. Além do mais, devem-se levar em conta os custos do transporte das matérias primas das respectivas fontes produtoras ao local de produção do Biodiesel, o transporte deste ao agente que irá preparar as misturas (distribuidor) e deste ao consumidor final. Isto porque, devido às grandes dimensões do país, estes valores serão certamente relevantes.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.4.1.
Financiamento

Recentemente o BNDES lançou o "Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel" (BNDES, 2006), com o objetivo de apoiar investimentos na produção de Biodiesel. O programa atende a todas as fases da produção, i.e. desde a sua fase agrícola, de produção de óleo bruto, de produção de Biodiesel. Atende, também a assuntos ligados a armazenamento, logística e aquisição de equipamentos para a produção de Biodiesel.

O programa estabelece condições mais favoráveis a projetos que possuam o chamado "Selo Combustível Social", a ser outorgado pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário-MDA aos projetos que promovam a inclusão social de agricultores familiares.

A participação do Banco nestes projetos é de até 90% dos itens passíveis de apoio, para projetos com "Selo Combustível Social"; e de até 80% (oitenta por cento) dos itens passíveis de apoio, para projetos sem selo. Adicionalmente, foi reduzida a exigência de garantias reais para 100% do valor do financiamento, em vez dos usuais 130%; e são praticadas menores taxas de juros.

2.4.2.
Aspectos de mercado

O Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE, 2005) explica que o mercado potencial para o Biodiesel é determinado pelo mercado do derivado mineral. Conceitualmente, o Biodiesel pode substituir o diesel em qualquer uma das suas aplicações. No entanto, a inserção deste combustível na matriz energética brasileira deverá ocorrer de forma gradual e focada em mercados específicos, que garantam a irreversibilidade do processo.

A utilização do Biodiesel pode ser dividida em dois mercados distintos (NAE, 2005), a saber: mercado automotivo e usos estacionários.

O mercado de estações estacionárias caracteriza-se basicamente por instalações de geração de energia elétrica, e representam casos específicos e regionalizados. Tipicamente, pode-se considerar a geração de energia nas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

regiões remotas do país as quais, em termos dos volumes envolvidos, não é significativa, mas pode representar reduções significativas com os custos de transporte e, principalmente, a inclusão social destas comunidades.

Outros nichos de mercado para a utilização do Biodiesel para geração de energia podem ser encontrados na pequena indústria e no comércio, como forma de redução do consumo de energia no horário de ponta, aliado aos aspectos de propaganda e marketing.

O mercado automotivo abrange o transporte urbano, de prestação de serviços municipais, transporte ferroviário, hidroviário e o consumidor do varejo, representado pela compra do combustível nos postos de revenda tradicionais, i.e empresas de transportes interestaduais de cargas e passageiros, veículos leves e consumidores em geral.

Neste cenário, e de acordo com dados da ANP (ANP, 2006), o mercado total de diesel do Brasil, por região, é representado pelos números da tabela abaixo:

Tabela 06 - Consumo de óleo Diesel no Brasil em 2004.
Fonte: ANP (2006)

Região	**Consumo de Diesel (mil m^3)**
Sudeste	16737
Sul	7743
Centro-Oeste	4498
Nordeste	5618
Norte	3019

Deste montante, aproximadamente 37.000 mil m^3 de óleo Diesel foram importados, aproximadamente 16,3%, algo em torno de 6.400 mil m^3 o que equivale a um gasto de US$ 1,2 bilhão (NAE, 2005). Como exemplo, a utilização de Biodiesel B2 abriria um mercado de aproximadamente 800.000 m^3 de Biodiesel, enquanto que, para a utilização de B5, demandaria, um total de aproximadamente 2 MM m^3.

O aproveitamento destes nichos de mercado e a possível redução de custos agrícolas pela substituição total ou parcial do diesel pelo Biodiesel são benefícios potenciais da utilização desse combustível renovável. Especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde as distâncias e a carência de infra-estrutura de transporte elevam os custos de distribuição do diesel, conferindo vantagem ao combustível produzido localmente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.5.

Aspectos Sociais do Biodiesel

É fato que o processo de produção do Biodiesel estimulará a agricultura nacional, que terá de ampliar sua capacidade para atender à demanda esperada.

Com a criação o "Selo Combustível Social", o assentamento de famílias no campo será estimulado e com isso é esperada uma grande geração de empregos em áreas isoladas como nas regiões Norte e Nordeste.

Os principais benefícios relacionados aos aspectos sociais resultantes da utilização do Biodiesel no Brasil, relacionam-se com a geração de emprego e renda, além de inclusão social de populações menos favorecidas que se beneficiariam do uso do Biodiesel para geração de energia elétrica. Desta forma o Biodiesel pode ser um instrumento adicional para se alcançar os objetivos do Programa "Luz para Todos".

No que diz respeito à criação de empregos rurais, o GTI (2003) sugere, como regra comparativa e dependendo da cultura e tecnologia utilizada, que para cada 100 hectares de terras plantadas é necessário um trabalhador, enquanto que para agricultura familiar seriam necessários 10 trabalhadores. Por esta razão a propaganda do programa nacional do Biodiesel é pautada na inclusão social.

Nesta linha de ação, diversas empresas estão fazendo estudos de viabilidade de usinas produtoras de Biodiesel sustentadas por pequenos produtores rurais. Entre as empresas pode ser citada a Petrobrás, que iniciou, em abril de 2005, um estudo de viabilidade para investir MR$15 em unidade de produção de Biodiesel no interior do Paraná (O GLOBO, 2005). O estudo vai levantar a capacidade dos pequenos produtores rurais da região de abastecer a usina, cuja capacidade de produção deverá ser de 40 mil toneladas por ano. Outro objetivo do estudo é avaliar qual oleaginosa será mais viável para sustentar o fornecimento para a Empresa. Entre as possibilidades de produção estão o nabo forrageiro, o amendoim e o girassol. De acordo com o artigo, o Projeto poderá abranger um universo de 50 mil produtores no Paraná e norte de Santa Catarina.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

2.5.1.

Geração de emprego e agricultura familiar

De acordo com o relatório final do Grupo de Trabalho Interministerial (GTI, 2003) "...*os estudos conjuntos desenvolvidos pelos Ministérios do Desenvolvimento Agrário (MDA), da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Integração Nacional (MI) e das Cidades (MCidades) permitem simular que, a cada 1% de participação da agricultura familiar no mercado de Biodiesel no País, na hipótese de utilização de um percentual de mistura de 5% (B5) de Biodiesel no óleo diesel em todo território nacional, seria possível gerar cerca de 45 mil empregos no campo...*".

Levando-se em conta que, para cada um destes 45 mil empregos rurais, dentro das hipóteses acima, pode-se gerar 3 empregos urbanos, ou seja 130 mil, totalizar-se-iam 180 mil empregos diretos e indiretos para o mercado do B5.

Se a participação da agricultura familiar fosse aumentada de 1% para 6% no mercado do B5, a geração de emprego aumentaria para 270 mil empregos rurais e 810 mil na indústria, comércio e distribuição, totalizando mais de 1 milhão de empregos. O mesmo relatório do GTI aponta, como efeito comparativo, o fato que, se a mesma participação fosse integralmente apropriada pelo agronegócio da soja, seriam gerados apenas cerca de 46 mil postos de trabalho.

O GTI recomendou, em seu relatório, que as ações do Governo direcionadas ao Biodiesel devam adotar a inclusão social e o desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda de pequenos produtores, ou seja a produção e consumo devem ser promovidos de forma descentralizada. O Grupo recomendou, também, que não se deva privilegiar rotas tecnológicas, matérias primas e escalas de produção agrícola e agroindustrial, diante do amplo leque de alternativas que se pode explorar, mas que as regiões Norte e Nordeste devam receber tratamento diferenciado por serem regiões mais carentes e com amplas potencialidades de inserção no mercado do Biodiesel.

2.6.

Aspectos Ambientais sobre o Biodiesel

Quando se avaliam os impactos ambientais da queima de um combustível renovável, deve-se levar em conta todo o seu ciclo de vida desde a produção de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

sementes, passando pela utilização de fertilizantes, plantio, colheita, armazenamento, extração do óleo vegetal, transporte, consumo (emissões devido à combustão) e ainda a decomposição dos resíduos que venham a ser produzidos e a degradação do combustível que por um acaso não tenha sido utilizado como tal (GTI, 2003).

Foge aos objetivos deste trabalho uma avaliação completa sobre os aspectos ambientais do Biodiesel. Serão analisados dois pontos considerados mais relevantes: (a) comparação e balanço das emissões resultantes da queima do Biodiesel em relação ao diesel e (b) oportunidades do Protocolo de Kyoto para o Biodiesel.

É importante lembrar, que por ser o Biodiesel um combustível renovável, o cenário de referência em relação às emissões de gases de efeito estufa deve avaliar a quantidade de gases emitidos e depois deduzir a quantidade capturada na fotossíntese da biomassa que lhe serve de matéria prima (GTI, 2003).

As emissões de poluentes, provenientes da queima do Biodiesel, variam basicamente em função da matéria prima utilizada para sua produção. Comparativamente com o diesel e tomando-se por base o Biodiesel B100, produzido do óleo de soja, seu uso reduz as emissões do monóxido de carbono (CO) em 48%, de material particulado (MP) em 47%, do óxido de enxofre (SO_x) em praticamente 100% e dos hidrocarbonetos totais (HC) em 67% (GTI, 2003).

Em relação às emissões de óxido de nitrogênio (NO_x), no entanto, verifica-se um aumento. Recentes estudos da Environmental Protection Agency-EPA (U.S. Department of Energy, 2004), concluíram que, devido a este incremento de aproximadamente 10% de emissão de NO_x, quando da utilização de Biodiesel, realmente pode-se inibir a comercialização em áreas onde o efeito deste incremento de emissões ultrapasse requisitos ambientais. Entretanto, este fator não deve ser encarado como um impedimento geral de seu uso, devido, principalmente, às grandes vantagens em relação aos outros poluentes e pelos grandes esforços que se tem feitos para diminuir a emissão deste poluente. A questão do óxido de nitrogênio, por ser um aspecto negativo, será tratada com mais detalhes no item 2.6.1 deste trabalho.

Em relação às misturas de Biodiesel, pode-se perceber também uma redução nas emissões do monóxido de carbono, material particulado e hidrocarbonetos totais, porém em menores proporções por causa da “diluição” deste diesel. A comparação de emissões da queima de Biodiesel óleo de soja com o diesel encontra-se na tabela abaixo:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Tabela 07: Comparação de emissões da queima de Biodiesel proveniente de óleo de soja, em relação a queima de óleo diesel convencional.
Fonte: GTI (2004)

Poluente	B100	B20	B5	B2
Monóxido de carbono (CO)	-48%	-12%	-3%	-1%
Hidrocarboneto (HC)	-67%	-20%	-5%	-2%
Material particulado (MP)	-47%	-12%	-3%	-1%
Óxidos de enxofre (NO_x)	+10%	+2%	+0,5%	+0,2%

Com relação à valorização dos custos evitados da poluição pela substituição do diesel pelo Biodiesel B100, o GTI (2004) fez um exercício de estimativa de quanto o País poderia evitar gastar, contabilizando os custos relacionados principalmente à saúde. As estimativas alcançaram um montante de um pouco mais de MR$ 2,3 ao dia, totalizando aproximadamente MR$ 873 ao ano. Para o B20 a redução dos gastos ligados à poluição, o montante seria de MR$ 302,3 ao ano e para o B5 e B2, seria de MR$ 75,6 e MR$ 27,3 milhões de reais ao ano.

2.6.1.
Aspectos em relação às emissões de Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Como já foi dito, a composição do Biodiesel é um fator que afeta na quantidade de poluentes emitidos na queima – ver figura 15. Considerando um valor médio, pode-se verificar que o uso do Biodiesel B100 aumenta em aproximadamente 10% as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e algo entre 2 e 4% para o B20, o que não é elevado, mas deve ser considerado, pois é um dos principais precursores do ozônio troposférico, atualmente o mais grave problema de qualidade do ar na maior cidade brasileira, São Paulo (CETESB, 2003).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

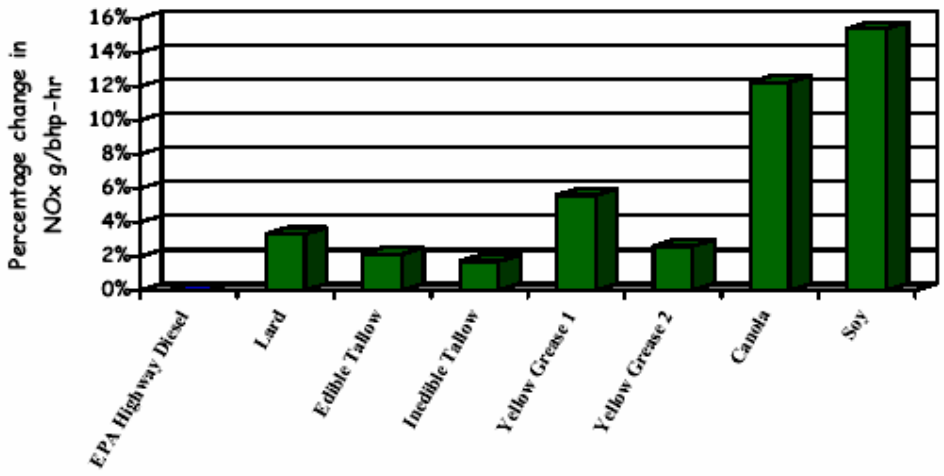


Figura 15: Comparação entre emissões de Biodiesel produzido por diferentes matérias-primas.
Legenda:

- Lard = Banha de porco;
- Edible Tallow = Sebo comestível;
- Inedible Tallow = Sebo não comestível;
- Yellow Grease = Gordura
- Soy = Soja

Fonte: Biodiesel Handling and Use Guideline, 2004

O aumento das emissões de NO_x, associado à utilização do Biodiesel, tem sido confirmado por muitos estudos e, por ser um aspecto negativo à implementação do mesmo na matriz energética nacional, deve ser o aspecto principal a ser pesquisado, visando à redução de formação de NO_x. As principais linhas de ação são:

a) Utilização de catalisadores[4];
b) Utilização de aditivos[5];
c) Identificação da fonte ou propriedade;
d) Desenvolvimento de novos motores;
e) Modificação no tempo de ignição[6];

[4] Nos veículos movidos a diesel, não se utilizam catalisadores de pós-combustão devido ao elevado teor de enxofre e emissão de particulados deste combustível. Como o Biodiesel é virtualmente isento de enxofre e diminui drasticamente as emissões de particulados, é possível a utilização de um catalisadores para veículos a Biodiesel, porém estaria seu uso restrito ao biocombustível. A utilização de catalisadores é uma alternativa de simples execução durante o processo de produção de novos motores estacionários ou em novos veículos, mas de uma operação de extrema complexidade quando se trata de instalar em motores usados principalmente nos veículos em circulação, com variado número de modelos e anos de uso (Biodiesel Handling and Use Guideline, 2004).
[5] Fabricantes de aditivos tem trabalhado nesta linha, embora testes com B100 tem mostrado que aditivos provém poucos benefícios a altos custos (Biodiesel Handling and Use Guideline, 2004).
[6] Um pequeno retardo no tempo de ignição, algo em torno de 1^0 a 5^0, pode trazer as emissões de NO_x do Biodiesel para níveis comparáveis ao diesel, ou ao menos reduzir a sua quantidade (Biodiesel Handling and Use Guideline, 2004). A regulagem de motores usados é uma operação complexa, mas a idéia é que alterando o tempo de ignição, modificam-se as condições de temperatura e pressão e com isso ocorre menor formação de NO_x.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

Oliveira (2004) cita que, apesar deste aumento nas emissões de NO_x ser um fato, ainda existe espaço técnico para utilização imediata do B9 mesmo quando utilizado no motor que mais emite NO_x homologado pelo Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE) e sendo, ainda assim, respeitado o limite superior de emissões imposto pelo IBAMA. No texto de referência ainda é afirmado que, caso o motor de maior índice de emissões de NO_x fosse excluído do sistema, seria possível a utilização da mistura de 28% de Biodiesel no diesel.

2.6.2.
Oportunidades do Protocolo de Kyoto para a Implementação de Geração de Energia a partir do Biodiesel

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA

O Protocolo de Kyoto, através dos seus instrumentos de flexibilização, entre eles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, busca obter uma reversão da tendência de crescimento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Desta forma, o protocolo de Kyoto determina que os países que aderiram às suas determinações, reduzam suas emissões e para tal, foram criados os chamados mecanismos de flexibilização.

Há abertura no protocolo para o caso de algum país que não consiga atingir as metas de redução. Este poderia comprar créditos de outras nações que possuam projetos de MDL. No entanto, o Protocolo de Kyoto, afirma que "*...reduções de emissões (devem ser) ... adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto*." (GTI, 2003).

Desta maneira, a forma como será desenvolvido o programa nacional de Biodiesel definirá a possibilidade ou não de enquadramento nas exigências do MDL, pois, como explica o GTI (2003), "*...para se estabelecer o que se define como redução adicional, deve-se estabelecer um cenário de referência. Caso o programa de Biodiesel seja compulsório, o mesmo se configurará como cenário de referência, não apresentando, portanto, adicionalidade na redução de emissões. Caso seja autorizativo, apresentará mais chances de elegibilidade.* "

O programa brasileiro está caminhando para que, a partir de 2008, seja compulsório o consumo de B2, restringindo assim a elegibilidade de projetos ligados ao Biodiesel dentro do MDL. Contudo, isto não deve ser um fator decisivo para se inibirem investimentos em Biodiesel, pois além do fato de que as exigências serem muito severas no âmbito do MDL, dificultando a

.

elegibilidade de qualquer projeto, também há o risco de não haver compradores interessados, pois a Diretiva da Comunidade Européia para o mercado de carbono estabelece como foco os projetos envolvendo grandes fontes estacionárias de emissão, como grandes centrais de geração de energia, indústria do cimento, entre outros (GTI, 2003).

Por outro lado, por ser o Biodiesel proveniente basicamente de óleo vegetal, estimulando-se o consumo deste combustível, estimular-se-á o desenvolvimento de empreendimentos ligados ao agronegócio e estes sim, entre outras alternativas, podem ser elegíveis para a recuperação de crédito de carbono dentro do Protocolo de Kyoto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0210215/CA