

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR MARCOS FERNANDES
SINICIO E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 04/05/97.

ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Produção e Utilização do Etanol como Carburante:
Países que se Destacam Neste Setor e
Recentes Desenvolvimentos Tecnológicos Internacionais**

Autor: **Marcos Fernandes Sinicio**
Orientador: **Sérgio Valdir Bajay**

05/97

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

**Produção e Utilização do Etanol como Carburante:
Países que se Destacam Neste Setor e
Recentes Desenvolvimentos Tecnológicos Internacionais**

Autor: **Marcos Fernandes Sinicio**
Orientador: **Sérgio Valdir Bajay**

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Térmica e Fluidos

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1997
S.P. - Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si65p

Sinício, Marcos Fernandes

Produção e utilização do etanol como carburante:
países que se destacam neste setor e recentes
desenvolvimentos tecnológicos internacionais / Marcos
Fernandes Sinício.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Sérgio Valdir Bajay.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Etanol. 2. Álcool como combustível. 3. Álcool -
Produção. 4. Biomassa. 5. Energia - Fontes alternativas.
I. Bajay, Sérgio Valdir. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

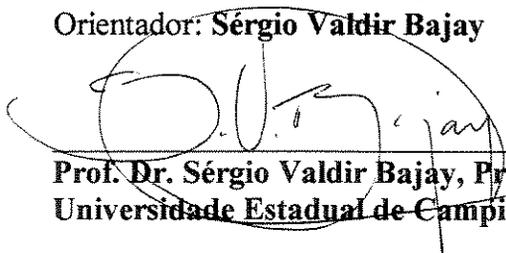
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

TESE DE DOUTORADO

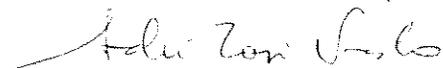
**Produção e Utilização do Etanol como Carburante:
Países que se Destacam Neste Setor e
Recentes Desenvolvimentos Tecnológicos Internacionais**

Autor: **Marcos Fernandes Sinicio**

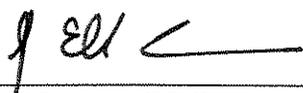
Orientador: **Sérgio Valdir Bajay**



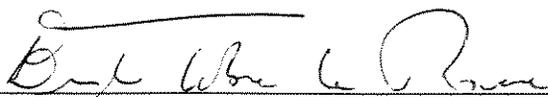
**Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay, Presidente
Universidade Estadual de Campinas**



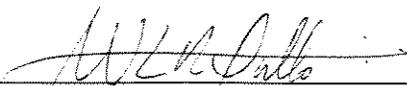
**Prof. Dr. André Tosi Furtado
Universidade Estadual de Campinas**



**Prof. Dr. Eduardo Gil Serra
Universidade Estadual de Campinas**



**Prof. Dr. Emilio Lebre La Rovere
Universidade Federal do Rio de Janeiro**



**Prof. Dr. Waldir Luiz Ribeiro Gallo
Universidade Estadual de Campinas**

Campinas, 9 de maio de 1997

Dedicatória:

Dedico este trabalho à minha família e a meus entes queridos.

Índice:

1	Introdução	1
1.1	Objetivos da Tese	1
1.2	Fontes de Informações	2
1.3	Estrutura do Trabalho	2
2	O Etanol como Carburante Automotivo nos EUA e na União Européia	5
2.1	Introdução	5
2.2	O Etanol nos EUA	6
2.2.1	Histórico	6
2.2.2	Aspectos Técnicos e Econômicos	9
2.2.2.1	Processo industrial de produção de etanol a partir do milho nos EUA	9
2.2.2.2	Balanco de energia	11
2.2.2.3	Aspectos técnico-econômicos que deram origem ao elevado número de fechamento de plantas que poderiam produzir etanol nos EUA	13
2.2.3	Aspectos Ambientais	18
2.2.4	Conclusões Sobre o Programa de Etanol nos EUA	21
2.3	O Etanol na União Européia	24
2.3.1	A Recente Produção de Etanol Carburante na União Européia e Europa	24
2.3.2	Custos de Produção e Subsídios dos Biocombustíveis na UE	25
2.3.3	Combustíveis Oxigenados Versus Poluição nas Cidades Européias	27
2.3.4	As Emissões de CO ₂ e os Balanços de Energia	29
2.3.5	O Sorgo Sacarino	32
2.3.6	Conclusões à Cerca da Produção de Biocombustíveis na Europa	33
3	Outros Países que se Destacam na Produção de Etanol	35
3.1	Introdução	35
3.2	Produtores de Álcool Carburante na África	36
3.2.1	O Programa do Álcool Carburante em Zimbábue	36
3.2.1.1	Introdução	36
3.2.1.2	Características gerais da destilaria	37
3.2.1.3	Balanco de energia na destilaria	40
3.2.1.4	Gerenciamento integrado usina-destilaria	41
3.2.1.5	Perspectivas do programa do álcool em Zimbábue	43
3.2.2	O Programa do Álcool Carburante no Quênia	44
3.2.2.1	Introdução	44
3.2.2.2	Contexto existente no Quênia à época	45
3.2.2.3	Histórico da implantação das destilarias no Quênia	45
3.2.2.4	Características gerais da destilaria Mehta	48
3.2.2.5	Balanco de energia da usina Mehta	49
3.2.2.6	Gerenciamento da destilaria	51
3.2.2.7	O futuro do programa nacional de Álcool no Quênia	52
3.2.3	O Programa de Álcool em Malavi	54
3.2.4	Conclusões Sobre a Produção de Álcool Carburante em Zimbábue, Quênia e Malavi	56

3.3	Produtores de Álcool Carburante na América Latina	58
3.3.1	Introdução	58
3.3.2	O Programa do Álcool Carburante na Guatemala	59
3.3.2.1	Introdução	59
3.3.2.2	Contexto geral à época	61
3.3.2.3	Características da destilaria	62
3.3.2.4	Aspectos práticos do programa	63
3.3.2.5	Perspectivas ao programa de álcool carburante na Guatemala	64
3.3.3	A Produção de Álcool Carburante na Argentina	66
3.3.4	A Produção do Álcool Carburante no Paraguai	70
3.3.5	Produzindo Álcool Carburante em El Salvador	72
3.3.6	O Álcool Carburante na Costa Rica	73
3.3.7	Estudos Sobre a Produção de Álcool Carburante em Poucos Outros Países da América Latina	75
3.3.7.1	A hipótese de produção na Bolívia	75
3.3.7.2	Uma possível produção de álcool carburante no Peru	77
3.3.7.3	Estudos sobre a produção do álcool carburante na República Dominicana	78
3.3.7.4	A solução ao etanol carburante no Panamá	79
3.3.8	Conclusões Acerca da Produção de Etanol na América Latina e Caribe	79
4	Tecnologias Relativas à Produção de Etanol para Uso como Carburante Sendo Desenvolvidas no Cenário Internacional	84
4.1	Introdução	84
4.2	Pesquisas em Fermentação	85
4.3	Tecnologias na Desidratação do Álcool	88
4.4	Produção de Etanol a Partir da Lignocelulose	90
4.4.1	Produção de Etanol Proveniente da Lignocelulose nos Estados Unidos	94
4.4.1.1	Aspectos gerais	94
4.4.1.2	Possíveis perspectivas para a produção de etanol a partir de biomassa	97
4.4.1.3	Considerações técnicas e econômicas	102
4.4.1.4	Produção de biomassa nos EUA para fins energéticos	113
4.5	Produção de Etanol a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos Contendo Celulose	118
4.5.1	Introdução	
4.5.2	Pré-Tratamento da Lignocelulose	119
4.5.3	Produção de Etanol a Partir de Papel Presente em Lixo Urbano	121
4.5.4	Produção de Etanol a Partir de Papel Reciclável (de Escritório)	124
4.6	Conclusões	128
5	Tecnologias Relativas à Utilização do Etanol como Carburante Sendo Desenvolvidas no Cenário Internacional	129
5.1	Introdução	129
5.2	Uso de Etanol como Combustível em Aeronaves	130
5.3	O Uso do Etanol em Motores Diesel	133
5.3.1	O Emprego de Etanol em Motores Diesel nos EUA	134
5.3.2	O Uso de Aditivos para Facilitar a Ignição por Compressão do Álcool	152
5.3.3	Uso de Etanol em Motores Diesel na Suécia	157
5.3.4	Uso de Etanol em Motores Diesel na Índia	169
5.4	O Uso do ETBE e do MTBE como Aditivos à Gasolina	175
5.5	Veículos que Podem Utilizar Vários Tipos de Combustíveis	178
5.6	Conclusões	191

6	Aspectos em Destaque na Produção e no Uso de Álcool Carburante no País	193
6.1	Introdução	193
6.2	Perfil Geral do Setor Sucro-Alcooleiro no Brasil	193
6.3	O Meio Ambiente	196
6.4	Concentração de Renda e Diminuição da Mão-de-Obra	199
6.5	Melhorias Técnicas Significativas no Setor Agrícola e Industrial	201
6.6	Transporte Coletivo e Privado	205
6.7	O Mundo do Engenho	207
6.8	O Futuro do Programa Nacional do Álcool	213
6.9	Produção de Etanol a Nível Mundial	215
7	Conclusões	216
	Referências Bibliográficas	216

Resumo:

SINICIO, Marcos Fernandes, *Produção e Utilização do Etanol como Carburante: Países que se Destacam Neste Setor e Recentes Desenvolvimentos Tecnológicos Internacionais*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 236 p., Tese (Doutorado)

Esta tese tem por objetivo traçar um panorama geral da produção e utilização de etanol como carburante nos países que mais se destacam neste setor. Foram feitas análises, neste sentido, sobre os Estados Unidos, a Europa, países da África, da América Latina e sobre pontos críticos da produção e utilização de etanol no Brasil. No cenário internacional procurou-se novas tecnologias que pudessem vir a ser aplicadas no Brasil, tanto na produção quanto na utilização de etanol. Neste sentido é que se destacaram as tecnologias de produção de etanol a partir de biomassa, através do processo enzimático; as tecnologias para a utilização de etanol em motores a ignição por compressão, os motores tipo diesel; assim como o desenvolvimento que tem sido feito no exterior para a utilização de veículos que podem ser movidos a vários tipos de combustíveis, os chamados veículos a múltiplos combustíveis. Visou-se com este trabalho traçar um panorama geral da produção e utilização de etanol no Brasil e no mundo e em que nível de desenvolvimento este processo está ocorrendo.

Palavras Chave

Etanol, Etanol no Mundo, Etanol e Poluição, Etanol e Novas Tecnologias

Abstract:

SINICIO, Marcos Fernandes, *Produção e Utilização do Etanol como Carburante: Países que se Destacam Neste Setor e Recentes Desenvolvimentos Tecnológicos Internacionais*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 236 p., Tese (Doutorado)

This thesis characterises the production and consumption of ethanol as a fuel in the most relevant countries in the field. Analyses were carried out about the United States of America, Europe, and some African and Latin American countries, as well as about some critical points concerning the Brazilian production and consumption of ethanol. New technologies under development abroad, related both to the production and the consumption of ethanol, were assessed. The main technologies evaluated were the production of ethanol from biomass through an enzymatic route; the use of ethanol in diesel engines and the development of vehicles that are able to run with a variety of fuels. In this way, a general picture of the development stage of the production and consumption of ethanol in Brazil and abroad was drawn upon.

Key Words

- Ethanol, Ethanol in the World, Ethanol and Pollution, Ethanol and New Technologies

104

Lista de Figuras

2.1	Produção anual de etanol nos EUA, de 1980 a 1990	7
5.1	Emissões de materiais particulados por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh	155
5.2	Emissões de Nox, por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh	155
5.3	Emissões de hidrocarbonetos por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh	156
5.4	Emissões de CO por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh	156

NP

Lista de Tabelas

2.1	Energia utilizada para produção de etanol a partir de milho e de celulose, em Btus por galão de etanol	12
2.2	Percentagens de mistura de MTBE e de etanol à gasolina para atendimento às disposições previstas na emenda do “Clean Air Act”	20
2.3	Estimativa das vendas mínimas de gasolina reformulada, em 10 ³ barris/dia, devido às determinações da emenda do “Clean Air Act”	21
2.4	Comparação entre os consumos de energia e petróleo para a produção de diferentes tipos de gasolina reformulada, a partir da adição de diferentes tipos de oxigenantes, em relação a um caso padrão	22
3.1	Características técnicas da destilaria Mehta	49
3.2	Consumo anual parcial de energia em função dos requerimentos da destilaria	50
3.3	Estrutura do custo de produção do álcool na destilaria Mehta	53
3.4	Relação das destilarias exportadas pela Codistil de 1975 a 1988	81
3.5	Preços relatados do açúcar e do petróleo	82
4.1	Dados coletados, por exemplo, sobre insumos, produtos e emissões	98
4.2	Emissões geradas pela gasolina reformulada e pelo etanol, em mg/milha	100
4.3	Composição média da matéria-prima: o papel recuperado	122
4.4	Insumos e produtos básicos da planta de etanol	123
4.5	Balanco de matéria-prima e energia para a produção de 1 litro de etanol	123
5.1	Unidades do “Programa de Combustíveis Alternativos para a Operação Comercial de Veículos Pesados”, vinculado ao Departamento de Energia dos EUA	137
5.2	Unidades do “Programa de Combustíveis Alternativos para Ônibus Escolares”, vinculado ao Departamento de Energia dos EUA	138
5.3	Projetos da DDC para operar motores diesel consumindo etanol em 1991	141
5.4	Frota de veículos pesados com motores a diesel, da Detroit Diesel Corporation, operando com o etanol como combustível, até meados de 1993	142
5.5	Emissões dos motores pesados da DDC movidos a etanol	144
5.6	Emissões dos motores pesados da DDC movidos a metanol	144
5.7	Composição do etanol utilizado pela companhia Stockholm Transport em sua frota de ônibus a álcool	159
5.8	Emissões de vários tipos de motores e ônibus, bem como de alguns combustíveis, considerados pelo programa de combustíveis alternativos na Suécia para redução das emissões de poluentes por veículos pesados	160
5.9	Nova composição do etanol utilizado pela companhia Stockholm Transport	163
5.10	Histórico do consumo dos ônibus da companhia Stockholm Transport	163
5.11	Emissões dos ônibus a etanol da companhia Stockholm Transport que são regulamentadas pela versão de 1994 da norma ECE R49	164
5.12	Emissões, em mg/km (fora indicação em contrário), dos ônibus a etanol da companhia Stockholm Transport que não são regulamentadas pela norma ECE R49	165
5.13	Emissões, em gramas/milha, dos VMCs da companhia VOLKSWAGEM	188
6.1	Limites de emissões do PROCONVE e emissões típicas de veículos brasileiros com 6 anos de uso, em g/km	198

6.2	Usinas brasileiras do setor sucro-alcooleiro que vendiam eletricidade em 1995	202
6.3	Produção de cana, açúcar e álcool na safra 1995/96	203
6.4	Remuneração da mão-de-obra não qualificada e semi-qualificada, na agroindústria canavieira paulista, no período da safra, e em outras atividades da economia do estado, em setembro de 1988	211
6.5	Propriedades e seus tamanhos, sob o ponto de vista fiscal	212
6.6	Classificação das terras em produtivas, não produtivas e não classificadas, em %, no Brasil como um todo e nas suas regiões	213
6.7	Países que apresentam produção de álcool carburante	215

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos da Tese

O objetivo principal desta tese é o de se considerar tecnologias as quais têm sido desenvolvidas no exterior e de que forma estas tecnologias podem servir para melhorar o cenário mundial de produção de açúcar e do álcool, em especial no Brasil.

A tese pode ser dividida em três grandes partes. A primeira é composta pelos capítulos 2 e 3, onde se descrevem alguns dos principais programas de produção de álcool carburante no mundo. A segunda parte é composta pelos capítulos 4 e 5, onde se abordam as principais tecnologias de ponta que estão sendo desenvolvidas na produção e na utilização de etanol como álcool carburante. Finalmente, na terceira parte, que trata do Brasil, se discute algumas questões críticas que estão vinculadas à produção e à utilização de álcool carburante no país.

Em momento algum a tese se dispõe a resolver uma grande questão que, de alguma forma, não houvesse sido perguntada antes por outras pessoas. Já existem vários trabalhos na mesma linha de pesquisa em que este se deu. O seu maior mérito, talvez, seja o de se perguntar de que forma as alterações que estão a ocorrer no exterior, no que se refere à produção e à utilização de álcool carburante, podem afetar a produção e a utilização deste energético no Brasil.

Existem outros trabalhos, com preocupações semelhantes como este, efetuados no exterior, que focam atenção mais na Europa, outros que se dedicam a estudar mais os Estados Unidos, ou alguns países da África, mas, até onde se tem conhecimento, nenhum deles é suficientemente abrangente e tem ao mesmo tempo o Brasil como alvo final.

Não se trabalhou nesta tese com a Austrália, embora Thomas (1992) afirme que existe adição de álcool anidro em parte da gasolina consumida naquele país. Também não se considerou a África do Sul, devido à dificuldade encontrada em se obter dados sobre aquele

O capítulo 2 descreve, através de um breve resumo histórico o que foi o programa do álcool carburante na década de oitenta nos Estados Unidos, como também traça algumas perspectivas futuras para o mesmo para a década de noventa, em função das modificações necessárias na área de combustíveis renováveis de forma a cumprir a legislação ambiental aprovada naquele país. Na segunda parte do capítulo 2 são efetuadas algumas considerações sobre a produção de biocombustíveis na Europa, bem como são feitas considerações sobre o porquê de uma possível expansão da produção de biocombustíveis naquela região.

No capítulo 3 é considerado em primeiro lugar a produção de álcool carburante em alguns países da África. Discute-se as razões e as condições através das quais iniciaram-se programas que podem ser considerados de vulto, levando-se em conta o tamanho das economias destes países. No mesmo capítulo trata-se da introdução da produção de etanol como um carburante em alguns países da América Latina. Estudam-se alguns dos programas que tiveram sucesso e os motivos pelos quais não se introduziram programas congêneres em outros países da região, que supostamente tinham condições para tanto.

O capítulo 4 trata de algumas das novas tecnologias utilizadas na produção de etanol no exterior. Em primeiro lugar se consideram novas pesquisas sobre a fermentação do mosto para a produção de etanol, assim como novas tecnologias para a desidratação do etanol. Então, é feita uma longa discussão sobre a produção de álcool carburante a partir de biomassa, ou seja, a lignocelulose. Considera-se, também, no capítulo 4, a possível produção de etanol a partir de resíduos sólidos urbanos contendo celulose.

O capítulo 5 considera algumas das novas tecnologias aplicadas à fase de utilização de etanol que estão sendo desenvolvidas no cenário internacional. Inicia-se o capítulo com uma breve descrição do uso de álcool anidro em aeronaves de pequeno porte. A seguir é traçado um largo panorama da utilização de álcool carburante em motores diesel. A seguir é discutida a opção entre se utilizar MTBE ou ETBE como aditivo oxigenante para a gasolina. Finalmente, comenta-se alguns programas, em desenvolvimento nos EUA, que tratam da utilização de veículos movidos a múltiplos combustíveis.

O capítulo 6 aborda alguns dos problemas críticos envolvidos na produção e utilização de etanol no Brasil. Inicia-se o capítulo com um pequeno histórico da produção de álcool carburante no país. Analisa-se a questão do meio ambiente, a concentração de riquezas que esta produção tem causado, assim como a questão da mão-de-obra. Aborda-se o porquê da

rejeição na utilização do MTBE no país, a questão das novas normas de qualidade que parte do setor vem adotando, a questão da cogeração e alguns dos melhoramentos, em geral, pelos quais o setor passou nas duas últimas décadas. São feitas, também, algumas considerações sobre o uso da terra bem como sua má distribuição no Brasil. Finalmente, a partir das novas tecnologias estudadas nos capítulos 4 e 5, selecionou-se três delas que possivelmente poderiam vir a ter um grande impacto no setor sucro-alcooleiro, no de combustíveis líquidos e na poluição urbana, caso fossem adotadas em larga escala no país. Estas tecnologias são a produção de etanol a partir da biomassa, o uso de veículos a múltiplos combustíveis e a utilização de ônibus movidos a etanol no Rio de Janeiro e em São Paulo. Estas tecnologias e sua possível aplicação no Brasil são discutidas sucintamente no final do capítulo.

Em função das várias conclusões parciais que são apresentadas nos vários capítulos que compõem a tese, o capítulo 7, referente às conclusões finais, é bastante curto e, de uma forma geral, apenas sintetiza as principais conclusões que se chegou ao longo da tese.

CAPÍTULO 2

O ETANOL COMO CARBURANTE AUTOMOTIVO NOS EUA E NA UNIÃO EUROPÉIA

2.1 Introdução

Houve nos EUA um aumento significativo na produção de etanol especialmente na primeira metade dos anos oitenta. Por uma série de motivos, que serão vistos neste capítulo, a produção de etanol não alcançou, contudo, os níveis que eram previstos pelos americanos no início da década de oitenta. A possível utilização de biomassa em larga escala para a estimulação da produção de etanol vem sendo experimentalmente testada por órgãos governamentais e privados nos EUA. Os resultados destes testes são, à primeira vista, promissores¹. A adoção de uma legislação ambiental mais rigorosa em certas partes do país tem criado um mercado interno para o uso do etanol e do ETBE, seu derivado.

Alguns países da União Européia-UE, por outro lado, iniciam a implantação de um programa similar ao PROÁLCOOL, quando se utiliza o sorgo como matéria-prima, o qual, devido a certo desenvolvimento genético, tem apresentado uma produtividade crescente. Mas, no momento, a produção de etanol na União Européia ocorre a partir de várias fontes de matéria-prima, como grãos, beterraba, vinho impróprio para consumo humano, etc.

A utilização de etanol em alguns países economicamente desenvolvidos ocorre por várias razões. As mais nobres são a criação de empregos e a busca por uma melhor qualidade de vida com a diminuição dos níveis de poluição, principalmente nas grandes cidades. O consumo de etanol, misturado à gasolina ou não, atende uma pequena parcela destes objetivos.

Também se consome etanol na forma de ETBE, etil-tetrabutyl-eter, que é adicionado à gasolina. O ETBE substitue o chumbo como agente elevador da octanagem na gasolina

¹ A possível utilização de biomassa para a produção de etanol será vista adiante, no capítulo 4.

tradicional e diminua a produção de poluentes que a gasolina apresentaria caso fosse utilizada isoladamente nos motores à combustão.

O projeto da UE prevê a criação de mais de 600 mil empregos diretos só para a produção de bio-energia a partir do sorgo. A cultura do sorgo apresenta semelhanças marcantes com a cultura da cana-de-açúcar. O objetivo da UE é a utilização dos cerca de 20 milhões de hectares de terra agrícola e dos trabalhadores que, estima-se, estarão disponíveis com os cortes de subsídios para a produção de alimentos na Europa. Além disso, é prevista a utilização de até mais 20 milhões de hectares em terras marginais. Planeja-se não apenas a produção de álcool mas também a utilização do bagaço, cuja produção por hectare é maior no caso do sorgo sacarino do que no caso da cana-de-açúcar, para a cogeração de energia elétrica na energeticamente faminta Europa, e a utilização do bagaço de sorgo como matéria-prima para a produção de papel e outros materiais.

2.2 O Etanol nos EUA

2.2.1 Histórico

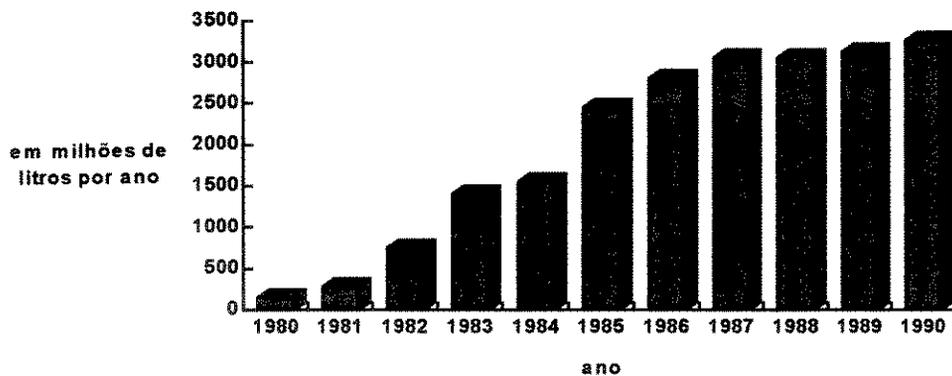
A passagem do "Energy Act" em 1978 no Congresso americano anunciou o nascimento do etanol como combustível nos EUA. O ato possibilitava os incentivos econômicos para a produção de combustíveis líquidos a partir de fontes sólidas de origem fóssil bem como de fontes renováveis de energia, e foi consolidado pelo "Windfall Tax Act" de 1980, que oferecia encorajamentos adicionais para possíveis produtores. (ROSILLO-CALLE et alii, 1992)

A indústria de etanol nos Estados Unidos desenvolveu-se rapidamente. Em 1986, 3.5 bilhões de litros foram consumidos, principalmente em adição à gasolina, e a produção alcançou 3.2 bilhões de litros de etanol. Durante o início da década de oitenta, o maior objetivo era reduzir a dependência dos suprimentos externos de energia. A perspectiva de utilização de excedentes da produção de milho providenciava um importante suporte para uma indústria com matéria-prima de origem agrícola. (ROSILLO-CALLE et alii, 1992)

A seguir é feita, neste ítem, uma descrição do comportamento da produção de etanol nos Estados Unidos da América ao longo da década de oitenta, que se baseia em Madson e Murtagh (1991).

Durante a década passada, os EUA perceberam a necessidade de reduzir a sua dependência em relação à importação de petróleo e seus derivados. Foi reconhecido que havia a necessidade da busca de fontes renováveis de energia para atender os requerimentos sempre crescentes da nação. Um dos resultados práticos desta busca tem sido o desenvolvimento de uma indústria de álcool carburante.

O etanol tem sido usado, intermitentemente, como combustível automobilístico na América do Norte e na Europa desde os anos vinte, mas a sua produção em termos significativos e a sua aceitação pelo público ocorre apenas a partir de 1979. Este fato se deu, em grande parte, devido a financiamentos e incentivos federais e estaduais, como isenções fiscais para o etanol como combustível e taxas de crédito especiais para a construção de novas plantas.



Fonte: (MADSON & MURTAGH, 1991)

Figura 2.1 Produção anual de etanol nos EUA, de 1980 a 1990

Durante a década de oitenta a produção de álcool carburante nos EUA cresceu de um conceito para uma indústria produzindo mais de 3 bilhões de litros por ano. Cerca de 8 por cento da gasolina consumida nos EUA possui uma mistura de etanol de 10 por cento em volume. Aproximadamente 165 plantas comerciais foram construídas, utilizando-se de cereais como matéria-prima, e com a capacidade variando de 2 milhões a mais de 1 bilhão de litros por

ano, de acordo com Madson & Murtagh (1991). A figura 2.1 mostra a evolução da produção de etanol nos Estados Unidos de 1980 a 1990.

De um ponto de partida de aproximadamente zero em 1979, o Departamento de Energia dos EUA havia antecipado a construção de cerca de 2400 plantas produtoras de etanol pelo ano 1985, produzindo aproximadamente 10 bilhões de litros por ano. Esta visão, contudo, não foi e nunca poderia ter sido realizada, segundo Madson & Murtagh (1991). Ainda segundo Madson & Murtagh (1991), das cerca de 165 instalações, em escala comercial, construídas para a produção de etanol a partir de grãos nos EUA, menos do que 40 permaneciam em operação no final do ano de 1990. Fatores como mudanças na política pública, esquemas de investimento fraudulentos e encorajamento financeiro governamental a projetos não competitivos contribuíram para o fracasso de tais plantas. Mas as causas mais significantes foram a seleção imprópria de tecnologias e determinados projetos de engenharia. Muitos desses problemas tecnológicos estão relacionados com uma compreensão inadequada dos sistemas de processamento biológico. Outros fracassos resultaram do mau uso das tecnologias e equipamentos de indústrias anteriormente estabelecidas, assim como de pesquisas inadequadas.

Ao final de 1990 a atividade de construção de plantas era quase inexistente. Isto devido a uma lei federal que previa o término da isenção do imposto, "excise tax remission", e das facilidades creditícias, "blender tax credit", em 1992 e 1993, respectivamente. Esses importantes benefícios fiscais foram, recentemente, estendidos até o final deste século. Contudo, fontes convencionais de financiamento para projetos visando a produção de etanol estão relutantes quanto ao investimento de fundos, devido à incerteza quanto a futura estrutura de preços nos setores petrolífero e agrícola.

O preço de venda típico de etanol nos EUA é de cerca de US\$ 0,30 por litro², aproximadamente igual ao custo típico de produção. Cerca de metade deste valor de venda, 14,27 centavos de dólar por litro, é computado como benefícios fiscais federais para as usinas. Nos últimos anos, etanol para uso automotivo tem sido vendido a preço de atacado igual ao da gasolina sem chumbo, levando-se em conta os subsídios fiscais estaduais e federais ao etanol. Isto indica que, por parte da indústria petrolífera, o etanol é avaliado apenas como um substituto volumétrico para a gasolina.

²O custo de produção do etanol depende em grande parte do valor do milho no mercado, o que tem variado bastante ao longo dos anos. Rosillo-Calle et alii (1992), citando Ahmed et alii (1989), afirmam que se o custo do milho for igual a US\$ 68,90 por tonelada, o do petróleo igual a US\$ 20 por barril, e os sub-produtos da produção de etanol tiverem um preço de US\$ 105 por tonelada, o custo médio de produção do etanol deverá ser aproximadamente igual a US\$ 0,319 por litro.

O preço do etanol como combustível nos EUA não é determinado em função do seu valor ambiental ou como elevador do número de octanas da gasolina. Se esses fatores fossem considerados, o subsídio governamental poderia ser reduzido ou eliminado segundo Madson & Murtagh (1991).

Na ausência de um aumento substancial no preço da gasolina, ou de uma política de preços que reconheça o verdadeiro valor ambiental e como enriquecedor de octanagem do etanol, está claro que a indústria produtora de etanol nos EUA continuará a requerer suporte governamental.(MADSON & MURTAGH, 1991)

2.2.2 Aspectos Técnicos e Econômicos

2.2.2.1 Processo industrial de produção de etanol a partir do milho nos EUA

O milho é a principal matéria-prima utilizada na produção de etanol nos Estados Unidos. Os dois tipos básicos de processos adotados a nível comercial para a conversão de milho em etanol são o de moagem úmida (wet-milling), e o de moagem seca (dry-milling).

O processo de moagem úmida é responsável por cerca de 60 por cento da produção total de etanol. As plantas que se utilizam do processo de moagem seca custam menos para serem construídas e produzem mais etanol (279 litros por m³ de milho, versus 268 litros por m³ de milho, para a moagem úmida), mas o valor dos seus subprodutos é menor (HOHMANN & RENDLEMAN, 1993). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

Em ambos os processos o milho é limpo (cleaned) antes de ir para o moinho. No processo a seco a operação de moagem consiste na maceração do milho e na adição de água, formando uma pasta. No processo úmido a moagem é mais elaborada, porque o grão deve ser separado em seus componentes. Neste caso, o milho é imerso em uma solução contendo água e dióxido de enxofre por um período que varia entre 24 e 48 horas, de forma a descolar o germe e a membrana que cobre a polpa. O germe é então removido da polpa, e óleo de milho, um valioso subproduto, é extraído do germe. O germe, após a extração do óleo, é retornado ao processo principal, e deverá formar, ao final da produção do etanol, um subproduto denominado "corn gluten feed-CGF", que é utilizado para alimentação animal. O glúten, uma

porção da polpa que é altamente rica em proteína, é separado para formar um outro subproduto, o "corn gluten meal-CGM", que tem um alto valor econômico devido ao seu elevado teor de proteína que é igual a cerca de 60 por cento. O CGM também é utilizado na alimentação animal.

No processo de moagem úmida só o amido do milho é fermentado, ao contrário do processo de moagem seca, onde toda a massa é fermentada. No processo de moagem úmida a parcela do milho contendo amido é cozida, liquefeita, e uma enzima é adicionada para hidrolisar -quebrar em cadeias menores- o amido. No processo de moagem seca a massa formada pela maceração de todos os componentes é cozida e uma enzima é adicionada. Nos dois tipos de processo de produção uma segunda enzima é adicionada para transformar o amido parcialmente hidrolisado em uma forma simples de açúcar, a glicose; este processo é chamado de sacarificação. Este processo geralmente precisa de 24 horas para se completar, contudo, uma planta que utilize o processo de moagem úmida pode demorar até 48 horas para completar a sacarificação. O tempo depende da quantidade de enzima utilizada. Em modernas plantas com moagem a seco, a sacarificação tem sido combinada com a etapa de fermentação, em um processo conhecido como sacarificação e fermentação simultânea, "simultaneous saccharification and fermentation-SSF".

A próxima etapa em ambos os processos é a fermentação, que transforma a glicose em etanol, e que se dá através do emprego de fermento. A massa deve ser resfriada no mínimo até 35°C antes de se adicionar o fermento. Este deve converter a glicose em etanol, dióxido de carbono e pequenas quantidades de outros compostos orgânicos. O fermento, que produz quase tanto dióxido de carbono quanto etanol, cessa a transformação quando a concentração de etanol é próxima a 12 por cento em volume.

A destilação, um processo intrinsecamente consumidor de energia é, então, requerida para separar o etanol da solução hidro-alcoólica. Esta fase é constituída de duas etapas, a destilação primária e a desidratação. A destilação primária tem como resultado um etanol que é até 95 por cento livre de água. A etapa de desidratação é necessária para elevar a concentração de etanol para até 99 por cento. Vários tipos de tecnologia estão disponíveis para a etapa de desidratação. Uma pequena quantidade de gasolina é adicionada ao etanol para desnaturá-lo, isto é, fazê-lo impróprio para o consumo humano, antes que ele deixe a planta. Os subprodutos utilizados para ração animal -o CGF e o CGM nas plantas de moagem úmida, assim como a torta denominada "distiller's dried grains and solubles-DDGS", nas plantas com moagem a

seco- devem ser concentrados em grandes evaporadores, e tornarem-se secos(HOHMANN & RENDLEMAN, 1993)

2.2.2.2 Balanço de energia

O etanol é produzido nos EUA principalmente a partir da sobra de grãos, especialmente o milho, em um processo que, embora apresente valiosos subprodutos, é intensamente consumidor de energia. Isto ocorre porque, ao contrário da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar ou do sorgo, onde há produção de uma quantidade suficiente de bagaço para tornar a planta industrial praticamente auto-suficiente, durante a safra, em termos energéticos, na produção de etanol a partir de cereais o bagaço, para ser queimado em caldeiras, é praticamente inexistente³. Desta forma, as etapas da produção que apresentam grande consumo de energia, notadamente a destilação, tem que ser supridas por fontes externas de energia. Este fato encarece extremamente a produção de etanol nos EUA, além do alto custo da matéria-prima, que é um alimento.

Ao longo da última década, medidas para se diminuir o consumo de energia na produção de etanol a partir de milho nos EUA têm sido continuamente levadas a efeito.

Um relatório, de dezembro de 1992, do Institute for Local Self-Reliance, fornece dados evidenciando a melhora comparativa do desempenho energético das plantas americanas. Este instituto se define como uma instituição sem fins lucrativos, baseada em Whashington, D.C., e que realiza pesquisas e fornece assistência técnica para grupos de pesquisa básica, órgãos regionais do governo, assim como para administradores e políticos. Neste relatório se afirma que sob a vasta maioria das condições, a quantidade de energia contida no etanol é significativamente maior que a quantidade de energia utilizada para produzir etanol a partir de milho (OXY-FUEL NEWS, 1992). Os parágrafos que se seguem também foram baseados nesta referência.

O relatório, intitulado: "How Much Energy Does it Take to Make a Gallon of Ethanol?", também conclue que se o entanol vier a se tornar um significativo combustível automotivo, aumentando a sua fatia do mercado bem acima do nível atual, a matéria-prima

³Aparentemente muito pouco ou quase nada dos pés de milho, após a colheira das espigas, deve ser utilizado como biomassa para se gerar energia a ser fornecida ao processo de produção de etanol.

deverá provavelmente vir de culturas celulósicas, como madeira de lei, restos de papel, borracha, as quais têm um índice de rendimento energético bem melhor que dois para um.

Tabela 2.1 Energia utilizada para produção de etanol a partir de milho e de celulose, em Btus por galão⁴ de etanol

	Etanol a Partir do Milho (Média Industrial)	Etanol a Partir do Milho (Melhor Valor Industrial)	Etanol a Partir do Milho (Estado da Arte)	Etanol a Partir de Material Celulósico
Fertilizante	14.800	7.760	4.360	6.200
Pesticida	715	715	715	350
Combustível	3.196	3.088	2.992	5.870
Outros (Matérias Primas)	10.720	10.184	9.650	4.150
TOTAL NA MATÉRIA-PRIMA	29.431	21.747	17.717	16.570
Vapor de Processo	38.500	32.150	28.000	49.075
Eletricidade	5.100	1.700	1.700	8.925
Transporte	1.330	1.100	800	1.330
Outros (Processo)	1.450	1.282	1.050	2.100
TOTAL NO PROCESSO	46.380	36.232	31.550	61.430
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA	75.811	57.979	49.267	78.000
Energia no Etanol	76.000	76.000	76.000	76.000
Energia nos Subprodutos	24.950	32.693	32.693	115.400
PRODUÇÃO TOTAL DE ENERGIA	100.950	108.693	108.693	191.400
Saldo de Energia	25.139	50.714	59.426	113.400
Ganho Percentual	33%	87%	121%	145%

Fonte: Institute for Local Self-Reliance, in Oxy-Fuel News (1992)

⁴ O galão americano equivale a 3,785 litros.

Este relatório mostra quanta energia é necessária para o cultivo da matéria-prima e para a fabricação de etanol, bem como quanto da energia alocada para estas duas etapas toca à produção de etanol ou à produção dos subprodutos extraídos da matéria-prima.

Levando em conta o nitrogênio, o fósforo e o potássio dos fertilizantes, os pesticidas e o combustível consumido no cultivo e no processamento do milho, o relatório diz que uma fazenda e uma planta industrial que tenham uma eficiência média consumirão, em conjunto, 75.811 Btus para a produção de um galão de etanol -ver tabela 2.1. Como um galão de etanol possui 76.000 Btus, isto indica que se gasta a mesma quantidade de energia para se produzir um galão de etanol, que a quantidade de energia presente neste mesmo galão(OXY-FUEL NEWS, 1992).

Contudo, boa parte da energia utilizada na fase agrícola e industrial da produção de etanol é utilizada na produção de subprodutos, como o óleo de milho, o glúten que serve para alimentação animal e humana, o germe de milho, o dióxido de carbono, e vários tipos de produtos ricos em amido ou adoçantes a base de milho, que são produzidos dependendo do processo de produção de etanol utilizado. A energia média contida nos subprodutos seria, conforme o relatório, igual a 24.950 Btus -ver tabela 2.1.

Desta forma, a produção total de energia é igual a 100.950 Btus e o saldo positivo é igual a 25.139 Btus, o que conduz a uma relação output-input energética igual a 1,33:1. Enquanto há um ganho de energia em plantas que operam com eficiência situada entre a média e o que pode ser considerado o estado-da-arte do setor, plantas ineficientes produzindo etanol podem consumir adicionalmente cerca de 55.000 Btus por galão de etanol, o que resulta num saldo energético negativo. Porém, no relatório se estima que é muito baixa a produção de etanol nos EUA com origem em plantas com tal nível de ineficiência (OXY-FUEL NEWS, 1992).

2.2.2.3 Aspectos técnico-econômicos que deram origem ao elevado número de fechamentos de plantas que poderiam produzir etanol nos EUA

A década de oitenta foi repleta de fechamentos de plantas e falhas de projetos nos EUA. De aproximadamente 165 plantas em escala comercial construídas, somente 38 permaneciam em operação em 1990 (MADSON & MURTAGH, 1991).

As principais causas para o elevado fechamento de plantas produtoras de etanol nos EUA foram a falta de uma constância na política governamental para o setor; o alto endividamento financeiro inicial de muitas empresas; a falta de experiência gerencial e de conhecimento prático de uma forma geral entre os administradores das plantas; assim como uma série de falhas técnicas, devido tanto a projetos de engenharia mal elaborados quanto a falta de experiência anterior ou inexistência de pesquisa (MADSON & MURTAGH, 1991). Os demais parágrafos deste item também são baseados nestes autores.

Uma das principais causas para os fracassos de projetos tem sido a política governamental, bem como as mudanças nesta política. Uma mudança na lei estadual de impostos na Louisiana eliminou a indústria de etanol no Estado. Mudanças nas leis referentes a impostos em alguns estados resultaram na falência financeira de projetos tecnicamente bem sucedidos. Além disso, o governo federal promoveu projetos que empregavam tecnologias que ainda não haviam sido testadas, com um alto custo de capital. O nível de fracasso técnico e financeiro desses projetos foram excessivos(MADSON & MURTAGH, 1991).

Embora não incluídas nas 165 plantas principais, mais de 100 plantas com pequena escala de produção fracassaram. Elas eram, geralmente, unidades instaladas em fazendas, para complementar atividades tradicionais das fazendas. A maioria destas plantas produziam menos que 2 milhões de litros por ano. Se o preço do petróleo tivesse continuado a aumentar para US\$60 por barril, conforme se previa, algumas destas plantas teriam tido sucesso. Este cenário econômico, contudo, era irrealista. O governo federal promoveu este tipo de planta na falsa presunção de que a produção de etanol eficientemente era algo simples, e que a tecnologia poderia ser facilmente manejada como se fosse uma típica operação tradicional de uma fazenda. Porque um fazendeiro produz grãos e consome combustível, isto não implica que ele deva possuir e operar uma instalação para a produção de etanol.

Quanto à questão financeira, várias plantas foram construídas com um alto custo de capital, através de financiamento. As mudanças na política governamental e nas condições de mercado tornaram difícil o pagamento dos débitos referentes a estas operações.

Com um posicionamento completamente oposto, devido a financiamento inadequado, muitos investidores prestaram muita atenção ao custo de capital dos equipamentos ao invés da sua qualidade e performance, e falharam na verificação da experiência anterior das companhias que estavam oferecendo equipamentos a preços aparentemente atrativos. Frequentemente, baixo custo era conseguido pela substituição de aço inoxidável por aço carbono, apenas para dar lugar a sérios problemas com corrosão(MADSON & MURTAGH, 1991).

Muitos investidores falharam na condução dos estudos de factibilidade, e não avaliaram corretamente o tempo e as despesas envolvidas na formação de estoques de etanol e no desenvolvimento de mercados. Muitos empresários assumiram que os mercados iriam materializar-se, e não entenderam as diferenças entre incentivos por isenção fiscal estadual e os efeitos restritivos da legislação em alguns estados.

A falta de conhecimento técnico e administrativo prévio na produção de etanol foi, também, uma outra causa de fracasso de plantas. Anteriormente a 1979, o know-how técnico para a produção de etanol era dominado por fabricantes de bebidas e pelos fabricantes de equipamentos para este setor. Nenhum dos principais produtores de bebidas envolveu-se na produção de etanol nos primeiros anos. O projeto industrial, as questões de natureza financeira, a construção, o processo de entrada em operação e o gerenciamento de uma nova planta de etanol foi, portanto, amplamente abandonado nas mãos de pessoas que tinham pouca ou nenhuma experiência prévia neste tipo de indústria. Os fornecedores de tecnologia e equipamentos para a produção de etanol que eram confiáveis e que estavam estabelecidos há longo tempo estavam, também, inicialmente relutantes em envolver-se na nova indústria, que era a produção de etanol, devido ao baixo nível de sofisticação, particularmente dos grupos envolvidos nas primeiras propostas de plantas.

Esta situação deixou o campo aberto para que companhias inexperientes oferecessem o que supostamente deveria ser equipamentos para a produção de etanol. Em muitos casos, o equipamento era uma adaptação de um equipamento vendido para outro tipo de indústria e que não servia apropriadamente à produção de etanol.

Muitos dos gerentes das primeiras plantas não tinham experiência prévia com produção industrial contínua e careciam de habilidade para lidar com empregados e para delegar responsabilidades. Também, os gerentes frequentemente trabalhavam longas horas em questões técnico-operacionais e não destinavam tempo suficiente para a igualmente importante administração financeira.

Houve, também, problemas de legislação ambiental. Um grande número de instalações experimentaram dificuldades em atender regulamentações ambientais com relação a descarga de líquidos e emissões atmosféricas. Plantas que foram bem sucedidas em atender regulamentações estaduais e federais à nível ambiental, assim o fizeram a um substancial custo de capital, chegando, em alguns casos, a mais de 10 por cento do investimento total na planta(MADSON & MURTAGH, 1991).

Alguns dos fracassos de plantas mais sérios nos EUA devem ser atribuídos ao uso de tecnologias não apropriadas. Mesmo os maiores detentores e fornecedores de tecnologia a nível mundial não ficaram imunes à síndrome da nova tecnologia com equipamentos e sistemas não previamente testados. Em muitos casos, falta de experiência e falha no julgamento resultaram em desastrosas consequências.

Algumas plantas empregaram sistemas de cozimento projetados apenas para a conversão do amido do milho em etanol, sem levar em consideração os requerimentos críticos de controle bacteriológico. Muitas dessas plantas experimentaram níveis de infecção incontroláveis, que causaram enormes perdas de rendimento. Quase todas as plantas que sobreviveram empregam tecnologias de cozimento baseadas em controle bacteriológico.

Muitas plantas eliminaram o estágio de sacarificação em separado e estão operando um processo de sacarificação e fermentação simultânea, "simultaneous saccharification and fermentation-SSF". Através da eliminação do estágio de sacarificação e de um controle apropriado do pH, tem sido demonstrado que a competição biológica na fermentação pode ser controlada a favor do fermento, ao invés da bactéria. As plantas que se utilizam de fermentação em separado confrontam-se com uma fonte adicional de infecção (MADSON & MURTAGH, 1991).

Várias plantas tentaram a propagação do fermento, com a expectativa de redução do custo de operação em frações de um centavo de dólar por litro. Muitas conseguiram somente a propagação de infecções, por não terem providenciado um projeto de esterilização adequado.

Em muitas partes dos EUA torres de resfriamento devem ser complementadas com sistemas de resfriamento adicionais, de forma a manter controle sobre a temperatura de fermentação. Para eliminar essa necessidade adicional de resfriamento, um detentor de patentes tentou utilizar-se de um fermento de sua propriedade que supostamente funcionaria com eficácia a temperaturas superiores a 38°C. A história da indústria de bebidas, contudo, está repleta de tentativas de se utilizar fermentos termofílicos selecionados, sem valia alguma. Certas falhas genéticas, como baixos níveis alcoólicos de inibição, baixa tolerância a ácidos, ou pobre tolerância a sais, normalmente acompanham fermentos tolerantes às altas temperaturas. A planta de etanol que tentou contradizer a história não está mais em operação. A história, contudo, seria bem diferente se houvesse o experimento funcionado.

A seleção de equipamentos de troca de calor com tolerância a resíduos e que mantenham simultaneamente a esterilidade, é desafiadora quando se processa caldos que contém o produto de grãos de cereais inteiros em mistura. Trocadores tipo casco-tubo

apropriadamente configurados têm apresentado excelentes performances. Algumas plantas que empregaram trocadores externos de pratos ou de serpentinas experimentaram infecções no caldo e problemas de entupimento. Além disso, serpentinas internas de resfriamento e "jacketed" fermentadores mostraram-se insatisfatórios em muitas experiências(MADSON & MURTAGH, 1991).

Uma planta experimentou dificuldades contínuas de operação devido à mistura inadequada de grãos na fermentação, levando à deposição de partículas de grãos nos tanques de fermentação.

Outra planta teve dificuldades no início da operação com a matéria-prima da fermentação, o amido contido na polpa do milho, até que um balanço apropriado de nutrientes foi estabelecido para manter uma funcionalidade eficaz do fermento.

Uma planta foi construída com uma combinação de cozimento à baixa temperatura e com propagação do fermento em fermentação contínua. Esta planta sofreu uma infecção massiva, que não pôde ser adequadamente controlada.

Em uma planta adotou-se uma coluna de destilação para cervejaria, pressurizada, com bandejas valvuladas, para processar vinho originário da fermentação de melaço de cana-de-açúcar. Era necessário limpar a coluna manualmente a cada poucos dias. Esta coluna de destilação foi trocada por uma outra, com projeto adequado, que possuía bandejas perfuradas de alta tolerância.

Um certo número de sistemas de desidratação com o uso de produtos azeotrópicos - benzeno, ciclohexano, éter, pentano, etc.- foram projetados com uma inadequada provisão para remoção das impurezas das cabeças das colunas de destilação. Estas impurezas, principalmente o metanol, acumulavam-se no topo da coluna de desidratação e interferiam com a operação de decantação(MADSON & MURTAGH, 1991)

Algumas plantas quiseram realizar a etapa de evaporação com o emprego de circulação natural tendo um total de sólidos presente no caldo superior a 45 por cento, não obtendo sucesso. Para plantas com moagem a seco o limite prático de teor de sólidos com circulação natural é de 30 por cento. Uma porcentagem de sólidos igual a 45 por cento requer circulação forçada na evaporação.

Quase 20 por cento das plantas apresentou falhas mecânicas nos tubos de vapor para secagem do DDGS. Um certo número de secadores foi trocado devido à corrosão do aço carbono. O DDGS possui um nível significativo de ácidos orgânicos.

Na maioria dos casos, as plantas que foram projetadas com um sistema de armazenamento de DDGS composto por silos verticais apresentaram problemas. O armazenamento em silos geralmente tem sido mal sucedido, devido à tendência do DDGS estabelecer-se como um aglomerado sólido. A maioria das plantas bem sucedidas utilizam armazenamento horizontal.

Uma planta foi projetada para consumir 14 kg de vapor por litro de etanol produzido. Utilizando-se do caro gás natural como energético, esta planta apresentou custos com energia superiores a 25 centavos de dólar por litro de etanol. Este fato resultou em um custo de produção aproximadamente igual ao dobro do preço de venda do produto.

Muitas plantas foram projetadas para consumir de 7 a 10 kg de vapor por litro. Plantas operando em 1991 consomem de 4,7 a 7,2 kg de vapor por litro. Futuras plantas irão operar consumindo menos de 4,3 kg de vapor por litro, sem precisar contrabalançar esse menor consumo específico de vapor com aumento excessivo no consumo específico de eletricidade(MADSON & MURTAGH, 1991).

Se as tubulações da planta forem projetadas por padrões petroquímicos, isto resultará em problemas de infecção, caso forem projetadas de forma a manter os padrões sanitários da indústria alimentícia, o custo de capital será excessivo. A maioria das plantas aprendeu, a custos expressivos, que um projeto apropriado, que balanceie requerimentos de esterilização com o custo de capital, é único para a produção de etanol carburante(MADSON & MURTAGH, 1991).

2.2.3 Aspectos Ambientais

Ao se analisar o futuro da produção de etanol nos EUA é preciso ter-se em mente que os fatores que levaram à implantação do programa do álcool naquele país, bem como o seu contexto atual, são bem diferentes dos que conduziram à criação do PROÁLCOOL no Brasil. Nos Estados Unidos a questão ambiental desempenha um papel fundamental na determinação do futuro do programa do álcool carburante.

É preciso que se diga, também, que a resposta americana à questão ambiental não passa exclusivamente pela produção interna de etanol. Defrontados com a poluição devido às emissões dos veículos automotores, especialmente nas grandes regiões urbanas, os EUA têm

apresentado opções já características para lidar com o problema: a produção interna de metanol, a produção interna de etanol e a importação ou produção de outros combustíveis, produzidos a partir de álcool ou não, que sejam menos agressivos especialmente à qualidade do ar nas grandes cidades.

Em uma economia como a americana, cujos preços no setor de combustíveis líquidos são bastante desregulamentados, em relação aos brasileiros, é de fundamental importância para que um combustível tenha o seu consumo incrementado nos EUA, que ele tenha um custo de produção relativamente baixo. Assim, a diminuição do custo de produção de etanol nos Estados Unidos não é, por si só, um fator que possibilitará o aumento da produção e consumo deste energético nos EUA. A competitividade deste combustível frente ao metanol, bem como a outros combustíveis menos poluentes é que determinará o futuro da produção de etanol nos EUA, considerando-se os incentivos que a legislação americana apresenta à produção e ao uso de combustíveis menos poluentes no país, especialmente nas regiões que têm apresentado elevados índices de poluição.

Os estados, por outro lado, possuem uma grande autonomia para legislar nos EUA, e podem, portanto, agir de formas diferentes em relação a incentivos e desestímulos à produção de um ou outro tipo de combustível, ou à sua importação. É bastante provável que a solução americana à questão ambiental neste setor ocorra de uma forma múltipla, como tem ocorrido até agora.

A regulamentação sobre combustíveis oxigenados prevista na emenda de 1990 do "Clean Air Act" nos Estados Unidos, requer que, começando em novembro de 1992, a gasolina vendida durante os meses de inverno em áreas que não atendem aos padrões de emissão de monóxido de carbono deve ter pelo menos 2,7 por cento de oxigênio em peso(ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991).

Há cerca de 40 áreas nesta situação e elas são responsáveis pelo consumo de cerca de 30 por cento da gasolina vendida nos EUA. A emenda permite à Agência de Proteção Ambiental, Environmental Protection Agency-EPA, um período de três anos para o atendimento deste requerimento, dando prioridade para as áreas que apresentem problemas mais agudos com relação à emissão de CO, sendo consideradas as capacidades de suprimento e distribuição de combustíveis oxigenados dos mercados locais de cada uma destas áreas. Em última instância, o requerimento para a porcentagem mínima, em peso, de oxigênio na gasolina poderá ser aumentado para 3,1 por cento nas áreas que continuem a não atender os padrões de

emissão de CO estipulados pela lei (ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991). Os próximos parágrafos também foram baseados nestes autores.

O segundo requerimento da emenda do "Clean Air Act" é o uso, ao longo de todo o ano, começando em 1995, de gasolina reformulada em nove grandes áreas metropolitanas que foram selecionadas por severamente não atenderem os padrões de presença de ozônio estipulados.

Estas nove regiões são responsáveis por 25 por cento das vendas nacionais de gasolina - seis delas também não atendem aos requerimentos previstos para a emissão de CO. A gasolina reformulada deve ter um conteúdo mínimo de oxigênio igual a 2 por cento, em peso, e um conteúdo máximo de benzeno igual a 1 por cento, em volume. Também existe mais rigor em relação à sua formulação, que deve apresentar um performance padrão.

Segundo Atkinson, Hirshfeld & Sobotka (1991), os requerimentos exigidos dos combustíveis oxigenados e da gasolina reformulada podem ser atendidos pela adição de MTBE ou de etanol à gasolina nas proporções indicadas na tabela 2.2, que se segue. Estes autores não consideraram o ETBE e o TBA porque, na sua visão, é provável que estes produtos oxigenantes não venham a ser utilizados em quantidades consideráveis nos EUA.

Tabela 2.2 Percentagens de mistura de MTBE e de etanol à gasolina para atendimento às disposições previstas na emenda do "Clean Air Act"

	Combustíveis Oxigenados	Gasolina Reformulada
MTBE	15,0%	11,1%
Etanol	7,8%	5,8%

Fonte: (ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991)

As refinarias de petróleo irão escolher entre o MTBE e o etanol na base da disponibilidade local destes combustíveis, de acordo com Atkinson, Hirshfeld & Sobotka (1991), e na base do preço de cada um. Seis cidades na porção oeste dos EUA já estabeleceram programas de combustíveis oxigenados. O MTBE tem uma fatia do mercado maior do que 90 por cento em três destas cidades, e o etanol tem uma porção igual ou superior

a 50 por cento em outras duas. No total, o MTBE conta com três quartos do mercado de oxigenados e o etanol fica com o quarto restante.

Parece que o MTBE continuará a ser a escolha da maioria dos refinadores devido à considerações de custo, de compatibilidade do MTBE com a tubulação existente e conforme a disponibilidade de estoques de matéria-prima nas refinarias para a produção de MTBE. De fato, sem um subsídio generoso -atualmente no nível de 14 centavos de dólar por litro- até o ano 2000 o etanol não tem condições de competir com o MTBE(ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991).

Tabela 2.3 Estimativa das vendas mínimas de gasolina reformulada, em 10³ barris/dia, devido às determinações da emenda do "Clean Air Act"

Venda de Gasolina	Inverno	Verão
1992 - 1994	2.100	0
1995 em diante	2.500	1.900

Fonte: (ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991)

Estimativas dos volumes mínimos de gasolina que poderão ser vendidos por conta das determinações da emenda sobre combustíveis oxigenados e gasolina reformulada previstas no "Clean Air Act" estão indicadas na tabela 2.3. O aumento em volume que é projetado para os meses de inverno de 1995 em diante reflete as vendas adicionais de gasolina reformulada previstas para três das áreas que não estão atendendo às regulamentações referentes ao ozônio(ATKINSON, HIRSHFELD & SOBOTKA, 1991).

2.2.4 Conclusões Sobre o Programa de Etanol nos EUA

Desde a década passada ocorre a utilização de combustíveis oxigenados nos EUA para substituição do chumbo, anteriormente misturado à gasolina, como forma de manter elevada a octanagem e devido à posterior preocupação com a redução dos níveis de emissão de CO₂ e outros poluentes, pelos veículos automotores. Este fato levou ao crescimento acentuado do uso de combustíveis oxigenantes como o metanol, o etanol e o MTBE.

Contudo, dois outros oxigenantes, o ETBE e o TAME, com pressões de vapor mais desejáveis que o etanol e o MTBE, têm sido considerados para uso (SCHELLER & VILJOEN, 1993). A mistura simultânea de etanol e éteres, como o ETBE e o TAME, à gasolina, também tem sido estudada nos EUA (DAVIS & SNELLER, 1993).

Singh & McNutt (1993) realizaram um estudo considerando que as refinarias de uma certa área dos EUA produziam um mesmo tipo de gasolina base, a partir da qual se obtinham quatro tipos de gasolinas reformuladas, todas elas contendo um nível de oxigênio igual a 2,1 por cento no verão e 2,7 por cento no inverno. As refinarias produziriam MTBE ou ETBE, a partir de metanol ou etanol comprado de terceiros, para serem adicionados, separadamente, à sua produção de gasolina base, formando, assim, os dois primeiros tipos de gasolina reformulada. O terceiro tipo de gasolina reformulada seria formado pela mistura de dois componentes, ambos contendo 2,1 por cento de oxigênio no verão e 2,7 por cento no inverno. O primeiro componente, 70 por cento em massa da mistura, seria gasolina base com etanol; o segundo componente, com os restantes 30 por cento da massa, seria composto por gasolina base com MTBE. O quarto tipo de gasolina reformulada seria composto apenas por gasolina base e etanol. Baseando-se nestas considerações, Singh & McNutt (1993) chegaram às conclusões sumarizadas na tabela 2.4.

Tabela 2.4 Comparação entre os consumos de energia e petróleo para a produção de diferentes tipos de gasolina reformulada, a partir da adição de diferentes tipos de oxigenantes, em relação a um caso padrão

Composição da Gasolina Reformulada a Partir da Gasolina Base-G.B. e dos Oxigenantes	Variação do Consumo de Energia, para a Produção da Gasolina Reformulada, em relação ao Caso Padrão	Variação do Consumo de Petróleo, para a Produção da Gasolina Reformulada, em Relação ao Caso Padrão
G.B. + MTBE	Caso Padrão	Caso Padrão
G.B. + ETBE	+ 1,3 a 2%	- 1,8%
30% G.B./MTBE + 70% G.B./Etanol	+ 1,3 a 2%	+ 2,1 a 2,5%
G.B. + Etanol	+ 6%	+ 9%

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de Singh & McNutt (1993)

Observações referentes à tabela 2.4, conforme Singh & McNutt (1993):

- i) O nível de 2,1 ou 2,7 por cento de oxigênio na gasolina reformulada não alteram sensivelmente o resultado final da análise;
- ii) A utilização de gasolina base de outra área dos EUA não alteraria a direção geral dos resultados do estudo, a não ser que houvessem mudanças drásticas nas condições de contorno básicas consideradas no processo de produção das refinarias;
- iii) Todas as gasolinas foram normalizadas, de forma que todas elas entregam a mesma energia final para propulsão.

Baseado nestes dados, observa-se que, sob o ponto de vista dos consumos de energia e petróleo, a produção de gasolina reformulada a partir de MTBE ou ETBE, produzidos nas próprias refinarias a partir de metanol ou etanol comprados de terceiros, praticamente se equivalem. A produção de gasolina reformulada a partir apenas da mistura com etanol, por outro lado, é claramente desvantajosa no caso das refinarias americanas consideradas por Singh e McNutt (1993).

Nos Estados Unidos, a companhia Amoco Oil Company está produzindo ETBE em uma planta de MTBE em Yorktown, Virgínia, que é misturado com gasolina em Nova York, Pensilvânia, Maryland e Virgínia. As companhias Arco Chemical Company e Arco Product Company estão produzindo ETBE em plantas de MTBE no Texas e em Washington, respectivamente, enquanto a companhia Chevron USA está testando a produção de ETBE e a sua mistura à gasolina na sua refinaria de El Segundo, na Califórnia (SCHELLER & VILJOEN, 1993).

Uma vez que o ETBE é produzido a partir de isobutileno e etanol, ele se beneficia, nos EUA, de créditos fiscais que são concedidos à produção de etanol a partir de fontes de matéria-prima renovável (SCHELLER & VILJOEN, 1993).

Em 1994 a Agência de Proteção Ambiental-EPA dos EUA determinou que, em 1995, pelo menos 15 por cento dos aditivos à gasolina reformulada utilizada nas cidades americanas que apresentam os maiores problemas ambientais proviessem de fontes renováveis. De 1996 em diante este índice deverá ser de 30 por cento. A EPA espera que um terço do consumo geral de gasolina nos EUA, em 1995, seja de combustível reformulado (GAZETA MERCANTIL, 01/07/94, *ibid*, 04/07/94).

A norma da EPA proíbe o uso de misturas de etanol que venham a provocar emissões de vapor durante o verão nas cidades com maiores índices de poluição(GAZETA MERCANTIL, 04/07/94)

Nos EUA, a produção de ETBE, a partir de uma fonte renovável, o etanol, parece atender melhor às exigências de desempenho automotivo e aos padrões de qualidade de ar do que a utilização de etanol como álcool anidro(SINÍCIO & BAJAY, 1994b).

2.3 O Etanol na União Européia

2.3.1 A Recente Produção de Etanol Carburante na União Européia e Europa

Nos anos oitenta, duas regiões, ou países, fizeram investimentos sensíveis na pesquisa e produção de etanol para fins energéticos, a nível mundial: Brasil e Estados Unidos.

O Brasil expandiu a produção de etanol até meados da década de oitenta. Desde então, passou a produzir muito mais álcool hidratado que anidro e, em função de uma queda no preço pago ao produtor nos últimos anos, e a outros fatores, as suas usinas e destilarias, bem como o setor agrícola canavieiro, têm apresentado um aumento de eficiência(SINÍCIO & BAJAY, 1994a).

Os EUA lançaram, no início dos anos oitenta, um programa de abrangência nacional para produzir etanol a partir de excedentes de cereais, tendo, basicamente, o milho como matéria-prima. Desde então, muitas instalações abertas para tal finalidade foram, porém, fechadas. Fatores diversos, como a falta anterior de know-how nesta área, a utilização de uma variedade de processos industriais não testados previamente em escala comercial, bem como um aumento no custo médio da matéria-prima para a produção de etanol, contribuíram para que o programa tivesse um sucesso apenas parcial. Esforços sensíveis no desenvolvimento e aquisição de novas e seguras tecnologias têm caracterizado este programa nos últimos anos(SINÍCIO & BAJAY, 1994a).

Enquanto isso, a Europa se manteve em compasso de espera no que se refere à produção e utilização de biocombustíveis em larga escala. Nos últimos anos, acordos firmados no extinto GATT para o corte de subsídios ao setor agrícola de países pertencentes à União

Européia-UE e outros fatores, alguns dos quais analisados neste ítem, conduziram a uma reavaliação da viabilidade de se empregar biocombustíveis no setor de transportes dos países membros da União Européia e Europa.

A preocupação ambiental, considerações sobre a necessidade urgente de criação de empregos e uma maior autonomia energética em relação ao petróleo importado, foram determinantes básicas nas decisões européias com relação à produção e ao uso dos biocombustíveis. Este texto analisa, de forma geral, a evolução recente da produção e uso de biocombustíveis na Europa, e em especial o etanol.

Segundo Leroudier (1993), os argumentos da Comissão Européia, da atual União Européia, responsável pelas diretrizes sobre a produção e uso dos biocombustíveis nos países membros, são os mesmos que os dos produtores e, também, os mesmos que se pode encontrar em qualquer parte do mundo, quais sejam:

- i) O uso generalizado de biocombustíveis para fins automotivos ajuda a aliviar os problemas ambientais causados por emissões poluentes provenientes do uso de combustíveis fósseis;
- ii) Conduz a uma maior autonomia na política energética, através da redução da importação do petróleo e seus derivados;
- iii) Cria um novo mercado para produtores agrícolas que precisem desenvolver culturas não alimentícias.

2.3.2 Custos de Produção e Subsídios dos Biocombustíveis na UE

A respeito do custo de produção dos biocombustíveis nos países membros da União Européia e nos EUA, Michaelis (1993) afirma: "Os custos de produção dos biocombustíveis, não importa como eles sejam calculados, serão, no mínimo, pouco menos que o dobro da maioria dos preços spot, tanto da gasolina como do óleo diesel, nos mercados internacionais. Vários governos de países membros da OCDE estabeleceram anistias fiscais para biocombustíveis, reduzindo esta diferença, mas não a eliminando".

A International Energy Agency-IEA calculou os custos de produção de vários biocombustíveis baseando-se numa variedade de fontes literárias. Os custos com a matéria-

prima formam o principal componente do custo final do biocombustível na maioria dos casos(MICHAELIS, 1993).

A política de suporte à agricultura dos países membros da OCDE é monitorada por esta organização, que produz estimativas anuais dos "Equivalentes do Subsídio ao Produtor" para diferentes produtos agrícolas. Estes subsídios à agricultura nos países membros da OCDE são fornecidos através de transferências diretas dos governos aos produtores e através de suporte ao preço dos produtos, o que resulta em um subsídio efetivo dos consumidores aos produtores(MICHAELIS, 1993).

Mas o impacto no número de empregos é hoje, também, uma variável muito importante na Europa. Na indústria de etanol, o nível de investimento para cada emprego criado varia entre 9700 e 17700 ECU, o que é, aproximadamente, 20 vezes menos do que o investimento médio por emprego na indústria química(ALLION, 1993).

Na França, foi assinado, em fevereiro de 1993, um acordo entre os Ministérios da Agricultura, da Energia, a associação dos produtores de biocombustíveis e as companhias petrolíferas Elf-Aquitaine e Total. As companhias concordaram em comprar 40.000 metros cúbicos de biodiesel em 1993, 85.000 metros cúbicos em 1994 e 140.000 metros cúbicos em 1995. O déficit financeiro entre o preço do biodiesel e o preço do óleo diesel é coberto, principalmente, pela anistia fiscal, mas, também, por um preço mais alto, que foi aceito pelas companhias petrolíferas, e por um subsídio à produção de "rapeseed"⁵ -matéria-prima vegetal utilizada para a produção de biodiesel- que totaliza 35 milhões de francos em 1993(THE CLEAN FUELS REPORT, 1993).

O governo francês tem solicitado à Comissão da atual União Européia a permissão para que o máximo de terra desautorizada, por um certo tempo, para a produção de alimentos, possa ser utilizada para o cultivo de lavouras visando a produção de biocombustíveis, como as lavouras da beterraba, do trigo, do milho e da colza. Em julho de 1993, a atual União Européia começou a fornecer um subsídio de US\$ 300 por hectare para a produção de sementes oliaginosas para produtores que retirassem 15 por cento de suas terras da produção de alimentos. Além disso, o governo francês está planejando a continuidade da anistia fiscal para os biocombustíveis -o imposto de combustíveis automotivos sobre o biodiesel é 25 por cento

⁵A planta denominada por "rape", em inglês, é cultivada para a alimentação animal e também por suas sementes. Das sementes desta planta se extrai óleo que é denominado em inglês por "rape-seed oil"(HORNBY, 1994). "Rape" é um termo botânico em inglês. Traduzido para o português pela palavra colza, a qual é uma variedade de couve, sendo uma planta que serve de alimento a carneiros e porcos e de cuja semente se obtém óleo (HORNBY, PARNWELL & MATOS, 1987). Colza é uma variedade de couve, que serve de forragem no inverno e cuja semente produz um óleo usado em candeeiros. O nome científico da colza é *Brassica campestris* (FERREIRA & LUZ, 1983).

do que incide sobre o óleo diesel- para além de 1996, a data final anteriormente estabelecida (THE CLEAN FUELS REPORT, 1993).

2.3.3 Combustíveis Oxigenados Versus Poluição nas Cidades Europeias

Ao longo dos últimos vinte anos tanto os veículos leves quanto os pesados têm sido sujeitos a limites de emissões de poluentes cada vez mais severos na atual União Europeia. Os principais poluentes de efeito local são o monóxido de carbono-CO, os hidrocarbonetos não queimados-HC e os óxidos de nitrogênio-NOx. Contudo, nos anos noventa, o assim chamado efeito estufa passou a ocupar o papel principal no debate ambiental (ALLION, 1993).

A atual União Europeia concordou em estabilizar o nível de emissões de CO₂ no ano 2000 no mesmo patamar de 1990. A Comissão da União Europeia avaliou as medidas necessárias para atingir este objetivo e concluiu que, além dos programas para economizar e racionalizar o emprego de energia, medidas adicionais eram necessárias (ALLION, 1993).

Segundo Héry (1993), uma das mais marcantes lições que pode ser aprendida da experiência americana é o fato de que, observando a significativa contribuição na redução de substâncias poluentes e tóxicas que pode ser obtida através da reformulação do combustível, os Estados Unidos decidiram criar uma legislação quando 95 por cento dos seus carros já estavam equipados com conversor catalítico. Obviamente que, se a introdução de oxigenantes na mistura que forma a gasolina conduz a um benefício para o meio ambiente em uma tal situação, as vantagens na Europa podem ser ainda maiores, pois lá apenas uma pequena proporção da frota está equipada com conversores catalíticos.

Todos os carros novos vendidos na União Europeia desde 1 de janeiro de 1993 estão equipados com sistemas de controle de emissões, mas ainda serão necessários muitos anos até que a maioria da frota de carros em operação esteja equipada com estes dispositivos. Previsões otimistas mostram que a frota europeia deverá estar quase toda ela equipada com conversores catalíticos entre os anos 2010 e 2015 (HÉRY, 1993).

Ainda segundo Héry (1993), em quem foram baseados os parágrafos que se seguem, pode ser demonstrado que carros velhos -sem conversores catalíticos- com níveis de emissões de poluentes uma ordem de magnitude maior que os carros modernos, continuarão a ser responsáveis pela maioria das emissões regulamentadas até um período no futuro de cerca de 10

a 15 anos. Este fato é explicado pelo vagaroso avanço da parcela da frota europeia equipada com conversores catalíticos, e continua sendo verdade mesmo quando se considera a redução de 80 a 90 por cento nos níveis de poluição dos carros com conversores e que os carros velhos tendem a rodar menos que os novos.

Em 1989 as indústrias petrolífera e de fabricação de veículos dos EUA iniciaram um extenso projeto de pesquisa devotado ao estudo da influência das propriedades da gasolina nas emissões, o projeto "Air Quality Improvement Research" ou "Auto/Oil programme". O orçamento destinado a este projeto, 40 milhões de dólares, testifica a importância do assunto e o comprometimento dos seus promotores. Os resultados do programa são compartilhados com legisladores, organizações ambientais, fabricantes de veículos e companhias petrolíferas. Inspirada neste projeto, a Europa está estabelecendo um programa semelhante, chamado "European Programme on Fuels, Engines and Emissions-EPFEE"(HÉRY, 1993).

O "Auto/Oil programme" chegou a correlações entre composição de combustível, tecnologia automotiva e emissões que não tinham sido ainda observadas. Destaca-se a importante contribuição de compostos oxigenantes, em particular a do MTBE, na obtenção de níveis de CO e de ozônio que permitem que se atinja qualidades padrões de ar, bem como reduções nas emissões tóxicas dos veículos.

Em 1992, percebendo que era essencial verificar se o tratamento americano para a gasolina reformulada também era apropriado na Europa, as companhias ARCO Chemical e British Petroleum, em parceria com a Volvo Car Corporation, decidiram iniciar um programa de pesquisa. O objetivo principal do estudo era determinar como variam os perfis das emissões dos carros com e sem catalizadores em função das propriedades da gasolina. Desde então, os resultados de outros dois grandes estudos similares também foram publicados (HÉRY, 1993).

Todos estes estudos examinaram especialmente os benefícios de uma leve reformulação da gasolina europeia para carros equipados com carburador ou um sistema direto de injeção de três tempos, mas sem catalizador ou filtro tipo "carbon canister". Uma reformulação leve, que levaria ao que se convencionou chamar de "gasolina limpa", tipicamente significa uma mistura de cerca de 2 por cento de oxigênio, em peso, na gasolina, sem que haja nenhuma mudança extra significativa na sua composição, exceto a redução da concentração de aromáticos, de forma a balancear a octanagem. Nos tipos de carros testados, observou-se que esta gasolina ligeiramente reformulada reduziu, em média, as emissões totais de monóxido de carbono em 23 por cento, as de óxidos de nitrogênio em 11 por cento e as de hidrocarbonetos em 11 por cento (HÉRY, 1993).

Na Europa, a estrutura das áreas urbanas é muito diferente das correlatas americanas. As áreas urbanas européias são, com algumas exceções, mais compactas. O ozônio é frequentemente formado fora das cidades, resultando no fato de que o ozônio é um problema das áreas rurais e de floresta. O óxido de nitrogênio, contudo, continua a ser um problema nas áreas urbanas européias (TASCHNER, 1993).

Nos Estados Unidos, o "Clean Air Act" prevê um teor de oxigênio na gasolina igual a 2,7 por cento durante o inverno. É interessante observar que o Estado da Califórnia requereu sua isenção a este respeito, uma vez que um teor de oxigênio elevado resulta em um aumento nas emissões de NO_x. Na Califórnia, 2 por cento de oxigênio é tido como satisfatório para reduzir a formação de ozônio e para, ao mesmo tempo, impedir um aumento na formação de NO_x (TASCHNER, 1993).

O que a Europa poderia aprender com os Estados Unidos é a redução categórica de benzeno para um por cento, bem como a redução da pressão de vapor. O teor de aromáticos da gasolina também representa um risco para a saúde, especialmente durante os próximos anos enquanto os carros ainda não estiverem equipados com conversores catalíticos (TASCHNER, 1993).

2.3.4 As Emissões de CO₂ e os Balanços de Energia

Na primeira fase do projeto EUROBIODIESEL, segundo Maurice Allion (1993), um estudo detalhado foi realizado para se determinar o impacto ecológico da produção e uso de biodiesel -"rapeseed oil methyl ester"- como combustível em comparação com o óleo diesel. Este estudo incluiu balanços energéticos, bem como as emissões de CO₂ e de outros gases poluentes e causadores do efeito estufa. Para cada etapa da produção, transformação e uso final, determinou-se a utilização de insumos energéticos e de matérias primas. Os produtos, energéticos ou não, e as substâncias não aproveitadas, foram determinadas. Deu-se atenção especial para as emissões de CO₂ e de outros gases causadores do efeito estufa. A cadeia de produção do biodiesel leva em conta as atividades agrícolas para a produção da colza e suas sementes, a prensagem, o refino, a transesterificação do óleo vegetal e o seu uso final em motores diesel. Considerou-se o consumo de energia fóssil durante todas as etapas de fabricação, incluindo a utilização de hexanas, metanol, outros materiais auxiliares e o

transporte do produto até os postos utilizados pelo consumidor final. O consumo energético de modernas instalações produtoras de óleo foi mensurado e calculado para diferentes esquemas de transesterificação. O consumo energético e as emissões foram alocadas para o produto principal, o biodiesel, e para os subprodutos, o "rapeseed expeller"⁶, a ração e a glicerina(ALLION, 1993).

As emissões de poluentes referentes à produção de óleo diesel foram determinadas para toda a cadeia de produção. Todas as emissões foram alocadas para o conteúdo energético dos fluxos do produto e dos subprodutos durante cada etapa da transformação(ALLION, 1993).

A conclusão é que cada tonelada equivalente de biodiesel evita a utilização de 0,8 toneladas equivalentes de energéticos fósseis e a emissão de 2,9 toneladas, equivalentes, de CO₂(ALLION, 1993).

Com relação ao balanço energético da produção de etanol a partir de várias culturas bioenergéticas, Bastianoni, Donati & Ulgiati (1993) afirmam que: "Está claro que, quando o valor energético dos subprodutos não é levado em consideração e os resíduos não são utilizados para fornecer energia ao processo de produção, o coeficiente energético dificilmente é maior do que 1. Se o fornecimento de energia ao processo de produção se deve, basicamente, à energia provinda dos resíduos do processo na forma de biomassa, um coeficiente energético mais elevado é alcançado por alguns autores e para algumas culturas".

Para as culturas que atualmente são utilizadas para a produção de etanol na Europa: o trigo e a beterraba, os coeficientes energéticos variam entre 0,99 e 1,07. O valor mais baixo desta faixa indica que a produção de um litro de etanol requereria o fornecimento de, aproximadamente, a mesma quantidade de energia que está contida neste mesmo litro de etanol, enquanto que o valor mais alto da faixa indica que o excedente de energia gerado seria de apenas 7 por cento. Uma vez que a maior parte da energia a ser fornecida proviria de combustíveis fósseis, uma situação parecida ocorreria com relação às emissões de CO₂(COLLEY et alii, 1992).

Se, contudo, os subprodutos fossem todos utilizados como combustíveis, a produção de bioetanol produziria um substancial ganho energético. Nesta hipótese, o coeficiente energético variaria entre 2 e 3 e o coeficiente de CO₂ seria de cerca de 0,5 -uma redução líquida do CO₂ emitido de cerca de 0,5 a 0,9 kilogramas por litro de etanol produzido. Deve ser observado que o uso extensivo de subprodutos como combustíveis não é prática corrente no setor(COLLEY et alii, 1992).

⁶Não encontrei tradução adequada, na língua portuguesa, para este termo.

Ainda segundo Colley et alii (1992), a análise da efetividade das várias opções de uso da terra como instrumentos políticos para a redução das emissões de CO₂ levou às seguintes conclusões:

- i) Se a terra passível de ser utilizada para o cultivo de culturas agrícolas para a produção de bioetanol fosse empregada para esta finalidade, ao invés de continuar a ser lavrada para a produção de alimentos, a produção de bioetanol resultaria na redução das emissões de CO₂, mesmo que não se fizesse uso dos subprodutos gerados na produção de bioetanol;
- ii) Se, ao contrário, a terra fosse deixada em repouso -sob o programa de repouso de terras da atual União Européia, que visa a redução das terras atualmente sendo cultivadas- a introdução da produção de bioetanol resultaria em uma redução nas emissões de CO₂ somente se todos os subprodutos pudessem ser utilizados como combustíveis. Se os subprodutos fossem utilizados de uma maneira convencional - como matéria-prima para ração ou como fertilizante- a produção de bioetanol conduziria a emissões mais elevadas de CO₂ -de 5 a 65 por cento a mais, dependendo do tipo de lavoura sendo cultivada;
- iii) Se a terra fosse utilizada para o cultivo intensivo de florestas com finalidades energéticas, a opção pela produção de bioetanol aumentaria as emissões de CO₂, mesmo se todos os subprodutos pudessem ser utilizados como combustível.

Mesmo quando os subsídios agrícolas são considerados como *fait accompli*, o custo de se utilizar biocombustíveis para se reduzir a emissão de CO₂ é superior a US\$ 100 por tonelada de CO₂ que é evitada. Há, provavelmente, meios de se reduzir as emissões de CO₂ a um custo menor, através de medidas visando o aumento da eficiência energética no setor de transportes e em outros, e através da substituição de energéticos em outros setores. Alguns combustíveis alternativos para uso no setor de transportes, como o GLP, podem ser, inclusive, mais econômicos que os biocombustíveis como forma de se reduzir as emissões de CO₂(MICHAELIS, 1993).

Há opções que, conforme Michaelis (1993), podem levar a maiores reduções no custo e nas emissões de CO₂ no caso do uso de biocombustíveis. Uma destas opções é a produção de ETBE a partir de etanol, para uso como aditivo à gasolina. O etanol, neste caso, estaria ocupando o lugar do metanol, que é produzido a partir de gás natural e utilizado para fazer MTBE. O valor do etanol seria cerca de 20 por cento maior e ele produziria cerca de 20 por

cento a mais de energia primária do que quando é utilizado diretamente em mistura com a gasolina.

As emissões de dióxido de enxofre, resultantes da combustão dos biocombustíveis, ou da biomassa, são muito baixas em comparação com as dos combustíveis fósseis -menos do que 0,01 por cento no caso dos biocombustíveis. Isto evita a utilização de processos complicados de dessulfurização, que são necessários nas atuais centrais de potência elétrica cujo combustível é de origem fóssil(GRASSI, MONCADA & ZIBETTA, 1992).

A produção de etanol em larga escala não resulta em prejuízos regionais significativos ao meio ambiente se as práticas agrícolas e as operações de produção da instalação industrial estiverem de acordo com as normas e regulamentos existentes(COLLEY et alii, 1992).

Com as práticas atuais, que, em termos energéticos, apresentam um elevado consumo nas instalações industriais e um baixo aproveitamento dos resíduos agrícolas e do processo industrial, considera-se mais provável que, em termos líquidos, a produção de bioetanol produziria pouco ganho energético e não resultaria em uma redução substancial das emissões de CO₂(COLLEY et alii, 1992).

Um programa para a produção de bioetanol em larga escala, planejado para fornecer energia renovável e reduzir as emissões de CO₂, não pode atingir estes objetivos, portanto, a não ser que os subprodutos sejam utilizados como combustíveis(COLLEY et alii, 1992).

2.3.5 O Sorgo Sacarino

Considerando-se o quadro agrícola atual na Europa, trigo e beterraba poderiam ser cultivados imediatamente visando-se a produção de bioetanol, enquanto o sorgo sacarino e o "Jerusalem artichoke" representam culturas que estão sob investigação como potenciais fornecedores de etanol no longo prazo(COLLEY et alii, 1992).

Os resultados das avaliações de setenta variedades de sorgo sacarino em diferentes localidades da Europa central e meridional, produziram uma média anual de mais de 90 toneladas por hectare de matéria fresca -cerca de 25 toneladas de matéria seca- e de 8 a 10 toneladas de açúcar por hectare. O fator limitante do importante potencial de produtividade do sorgo sacarino são as baixas temperaturas(GRASSI, MONCADA & ZIBETTA, 1992). Os parágrafos a seguir também foram escritos tomando-se como base esta obra destes autores.

Se o bagaço do sorgo sacarino -2/3 do conteúdo energético- e o açúcar -1/3 do conteúdo energético- forem utilizados para fins energéticos, a relação produção/insumo de energia pode alcançar um valor igual a 5.

No que se refere ao potencial de fixação de carbono, o potencial mais alto é o do sorgo sacarino, devido a sua alta eficiência fotossintética combinada com a sua alta produtividade em termos de matéria lignocelulósica seca -carbono fixo.

Significantes melhorias podem ser esperadas em termos de resistência e produtividade no caso do sorgo sacarino. Isto deve ser alcançado através da Rede Européia de Pesquisa e Desenvolvimento, "European R & D Network", coordenada pelo Instituto Nacional de Pesquisa Agrônômica, "Institut National de la Recherche Agronomique-INRA", da França, com o suporte da diretoria responsável da Comissão da atual União Européia.

Ainda segundo Grassi, Moncada & Zibetta (1992) a Rede Européia de P&D inclui quase todos os países da União Européia e envolve cerca de 25 empresas e universidades especializadas em avaliações genéticas, de produtividade, esgotamento de recursos hídricos, melhorias na colheita, no pré-tratamento, etc.

O sorgo pode ser utilizado como matéria-prima para uma larga variedade de produtos energéticos: o etanol e outros derivados do caldo, óleos, carvão vegetal, gás sintético, bagaço pulverizado, etc. Todos estes combustíveis podem ser o resultado da integração de processos de conversão, de forma a explorar-se o máximo potencial do sorgo sacarino.

Uma substancial redução no custo da geração de eletricidade pela combustão da biomassa é conseguida devido à alta produtividade das lavouras de sorgo. Se isto for combinado com desenvolvimentos tecnológicos que levem à eficiências de conversão comparáveis com aquelas que são atualmente obtidas nos grandes sistemas de ciclo-combinado movidos a combustível fóssil, a eletricidade gerada pela biomassa pode se tornar competitiva (GRASSI, MONCADA & ZIBETTA, 1992).

2.3.6 Conclusões a Cerca da Produção de Biocombustíveis na Europa

A produção de etanol e de biodiesel já é uma realidade na Europa. Esta produção se dá em escala significativa na França e a União Européia tem adotado medidas visando a expansão desta produção para outros países. A manutenção de empregos no campo após os acordos

firmados no GATT, onde acertou-se a diminuição de subsídios à produção de alimentos, e também a busca de uma maior independência energética e a redução da poluição nas grandes cidades são as principais causas para esta nova postura(SINÍCIO & BAJAY, 1994a).

Contudo, a produção de biocombustíveis na Europa só é possível, na atualidade, à custa de pesados subsídios, diretos ou indiretos. O uso de combustíveis oxigenados na produção de uma gasolina que produza menos poluentes, por outro lado, tem aprovação generalizada entre os países economicamente desenvolvidos. A necessidade por empregos, direta ou indiretamente relacionados à atividades agrícolas, e a questão ambiental, ajudarão a determinar a proporção na qual o metanol, especialmente na forma de MTBE, e o etanol, também na forma de ETBE, poderão atender a esta demanda emergente.

O custo de produção dos biocombustíveis é, no momento, o fator restritivo para a sua expansão. Vários órgãos têm sido criados na Europa, recentemente, na esperança de se diminuir o custo de produção dos biocombustíveis.

A utilização dos subprodutos das lavouras utilizadas para a produção do etanol, em especial o bagaço, diminuiria estes custos, assim como as emissões de CO₂. O sorgo sacarino, devido à sua alta produtividade de açúcares para produzir etanol e de bagaço para gerar eletricidade, parece possuir as características apropriadas para se tornar uma lavoura energética de destaque na Europa(SINÍCIO & BAJAY, 1994a).

CAPÍTULO 3

OUTROS PAÍSES QUE SE DESTACAM NA PRODUÇÃO DE ETANOL

3.1 Introdução

Embora haja indícios claros de um próximo aumento nos níveis de produção de biocombustíveis na América do Norte e na Europa, existe, também, outras regiões geográficas nas quais ocorre a produção de biocombustíveis, notadamente o álcool anidro e o álcool hidratado. Nestas regiões não está claro aquilo que está por vir no tocante à produção e à utilização de biocombustíveis e, também, ao álcool carburante.

Além das regiões já citadas, existe uma produção significativa de álcool carburante em nações em desenvolvimento, tanto na África como na América Latina, e em particular no Brasil. Nos parágrafos a seguir serão estudados certos aspectos mais contudentes de tais programas.

Na primeira parte deste capítulo são considerados três programas para a produção de álcool carburante na África. Na segunda parte deste capítulo são considerados alguns países e alguns aspectos de sua experiência com o álcool carburante na América Latina. Em países tais quais o Paraguai, a Argentina, a Guatemala e outros, houve a implantação de programas nacionais para a produção e utilização de álcool carburante. Em outros países na América Latina, porém, aparentemente houve apenas estudos de viabilidade.

Preços baixos do açúcar no mercado internacional, aumento real nos preços do petróleo importado, necessidade de economia de divisas para o equilíbrio da balança comercial, elevadas taxas de desemprego, capacidade ociosa das tradicionais usinas produtoras de açúcar, todos estes fatores estavam presentes entre 1975 e 1985, o período durante o qual a produção de álcool carburante foi expandida no mundo atual.

3.2 Produtores de Álcool Carburante na África

3.2.1 O Programa do Álcool Carburante em Zimbábue

3.2.1.1 Introdução

De acordo com um estudo efetuado por Scurlock, Rosenschein & Hall (1991), o Programa Nacional do Álcool em Zimbábue-PNAZ é um exemplo bem sucedido de como um programa para o uso de biomassa pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais. São produzidos aproximadamente 40 milhões de litros de etanol por ano naquele país, o que, levando-se em consideração o tamanho de sua economia, é um número bastante significativo. O único combustível efetivamente disponível em Zimbábue para motores ICE é uma mistura de álcool anidro e gasolina, onde a percentagem de etanol é da ordem de 13 por cento.

Apesar das vantagens obtidas com a substituição de parte da gasolina importada por um combustível renovável produzido internamente: como economia das divisas internas direcionadas à importação, geração de empregos, etc. Em Zimbábue, ao contrário do Brasil, o fator determinante para a criação do PNAZ foi a questão estratégica.(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991). As três páginas a seguir também se baseiam no livro destes autores.

Os derivados de petróleo representam 14 por cento da energia primária consumida em Zimbábue. Foram consumidos novecentos milhões de litros naquele país em 1986, dos quais 276 milhões de litros de gasolina -32 por cento-, 479 milhões de litros de óleo diesel -55 por cento-, e o restante era querosene para aviação e outros usos -13 por cento(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Zimbábue é um país geograficamente isolado do mar. Existe apenas um oleoduto que, do porto de Beira, em Moçambique, transporta combustíveis até o país. Uma outra opção é o transporte rodoviário, relativamente mais caro, através da África do Sul. As frequentes perturbações políticas em Moçambique, com prováveis cortes no fornecimento de combustíveis, e interrupções experimentadas no transporte via África do Sul, levaram o

governo de Zimbábue a priorizar a construção de uma destilaria na usina de açúcar Triângulo, que é, atualmente, a única instalação a produzir etanol naquele país.

Cultiva-se cana-de-açúcar em Zimbábue desde os tempos coloniais. A produção zimbabuana de açúcar, que iniciou-se em 1939, era de 309.500 toneladas em 1978, produzidas integralmente pelas usinas Triângulo e Hippo Valley. Deste total, 108.500 toneladas eram consumidas localmente e o excedente era exportado. Um baixo preço do açúcar no mercado internacional, que sequer cobria os custos de produção, na década de setenta, foi uma importante razão para o início da produção de etanol no país (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

A construção da destilaria da usina Triângulo iniciou-se em julho de 1979. Uma companhia alemã, Gebr. Hermann, que projetou a planta, tentou a implantação de um projeto tipo *turn-key*. Contudo, o governo de Zimbábue, bem como algumas empresas de capital privado daquele país, conseguiram um acordo para reduzir o custo de construção da planta através de uma maior utilização do pequeno parque industrial zimbabuano. Isto resultou em um índice de nacionalização dos componentes da destilaria da ordem de 60 por cento, bem como numa enorme redução do custo inicialmente estimado para a sua construção.

Procurando a redução dos custos de construção, assim como uma tecnologia apropriada ao nível de desenvolvimento do país e de acordo com o padrão de conhecimento dos trabalhadores que iriam operar a destilaria, uma grande quantidade de controles automáticos e equipamentos sofisticados foram descartados em favor de processos de controle manual mais simples. Desta forma, conseguiu-se um custo final de instalação igual a US\$6,4 milhões para a destilaria da usina Triângulo, o que a torna, segundo Scurlock, Rosenschein & Hall (1991), uma das mais baratas do mundo na sua faixa de capacidade de produção.

A destilaria começou a operar em junho de 1980, com toda a sua produção sendo vendida à empresa mista National Oil Corporation of Zimbabwe-NOCZIM, de controle estatal. Esta medida removeu alguns riscos que foram responsáveis pelo fracasso de programas semelhantes em outros países.

3.2.1.2 Características gerais da destilaria

A usina Triângulo possui aproximadamente 13.500 hectares plantados com cana-de-açúcar. Sua produtividade agrícola é, em média, de 115 toneladas de cana por hectare, bastante alta. Considerando-se, também, a cana fornecida pela sua companhia agrícola e pela companhia Hippo Valley, a moagem total média da usina, por ano, é de 1,9 milhões de toneladas. O que, levando-se em conta o etanol produzido, corresponde a uma produção de açúcar equivalente de 200.000 toneladas por ano.

A destilaria produz 120.000 litros de álcool anidro por dia. Isto corresponde a uma capacidade máxima de produção de 40 milhões de litros por ano, considerando-se um fator de capacidade igual a 96 por cento, o que equivale a duas semanas de parada anual para manutenção. A produção de etanol começa no dia primeiro de abril, paralelamente ao começo da moagem da cana, contudo, apesar da safra terminar por volta de novembro, a destilaria continua a operar. Uma combinação de melaço estocado e importado é utilizada para tanto. Os tanques de armazenamento de melaço da usina possuem um volume total capaz de suprir, isoladamente, as necessidades de produção da usina por três meses. Cerca de 40.000 toneladas de melaço(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Parte do vapor gerado nas caldeiras do setor de fabricação de açúcar é enviado para a destilaria, após passar pelos turbo-geradores. A destilaria consome 24 toneladas por hora de vapor de processo, a uma pressão de aproximadamente 120kPa e a uma temperatura de cerca de 130°C. Deste total, 16t/h é consumido na coluna de esgotamento e de 4 a 5 t/h é consumido na coluna de desidratação.

Os vasos de fermentação, com uma capacidade máxima de 735 m³ cada um, são mantidos a cerca de 35°C. Para esta ocorrência, o mosto é recirculado, com o emprego de bombas elétricas, por trocadores de calor refrigerados a água.

O processo de fermentação é por batelada. O enchimento das dornas dura 8h e a fermentação propriamente dita leva mais 24h para se completar. A levedura, que se desenvolve em três pré-fermentadores de 35 m³, é acrescentada ao mosto antes das dornas de fermentação principais, juntamente com uréia, fosfato diamônio e ácido sulfúrico. As dornas de fermentação são esterilizadas com vapor e "formalim" por duas a três horas antes do enchimento.

O vinho chega à coluna de esgotamento, que possui uma temperatura na base próxima a 108°C, com 8 a 10 por cento de etanol em volume e sai da mesma com uma concentração alcoólica, em volume, de aproximadamente 50 por cento. Após passar pela coluna de retificação, que possui uma temperatura na base de cerca de 90°C, o etanol, que agora está

com uma concentração em volume próxima a 96,5 por cento, é enviado para a coluna de desidratação, que opera com temperaturas de base e topo próximas a 85 e 65°C, respectivamente.

Na coluna de desidratação é retirada quase que toda a água restante. O álcool anidro obtido é, então, resfriado, estando pronto para ser transportado e misturado à gasolina.

A destilaria produz entre 9 e 10 litros de vinhoto para cada litro de álcool. O vinhoto é bombeado para reservatórios próximos à destilaria e, após ser resfriado, é misturado com água para irrigação.

Dióxido de carbono -CO₂, que é um subproduto obtido na fermentação, é vendido pela destilaria à companhia Oxygen Industries Group of Zimbabwe. Este gás é utilizado para a fabricação de refrigerantes. O fato da destilaria Triângulo ser o único fabricante de CO₂ em Zimbábue e este possuir uma limitada capacidade de estocar este produto, implica no fato da destilaria ter que operar durante quase todo o ano.

Um conjunto de nove caldeiras produz, cada uma, entre 20 e 100 toneladas de vapor por hora. Seis turbogeradores alimentados com vapor a alta pressão -3100 kPa e 380 °C- fornecem até 23 MW durante a safra. O vapor de exaustão que vai para o processo encontra-se próximo a 120 kPa e 130 °C, conforme já foi dito.

No período de produção de açúcar, que coincide com o de moagem, o bagaço queimado nas caldeiras é suficiente para fornecer eletricidade à destilaria e à usina, incluindo as edificações de administração, de moradia, as bombas de irrigação da lavoura, etc. Contudo, devido às dificuldades inerentes a uma atual possível estocagem do excedente de bagaço, para uso posterior nas caldeiras, compra-se carvão e eletricidade para uso no período da entre-safra(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

À medida em que o teor de fibra da cana aumenta de abril a novembro, de quase 14 por cento para aproximadamente 17 por cento, gerando um excedente de bagaço, a usina também passa a gerar um excedente de eletricidade, o qual é vendido a estatal Zimbabwe Electricity Supply Association-ZEZA. Em 1989 forneceu-se à estatal mais de 4000 MWh durante um período superior a três meses, o que equivale a uma potência média fornecida próxima a 1,8MW. Por outro lado, a usina Triângulo recebe até 6 MW da companhia ZEZA fora do período do processamento de açúcar.

As caldeiras da usina foram, inicialmente, projetadas com um baixo nível de eficiência, para queimar todo o bagaço produzido pela usina. Posteriormente, a cogeração de eletricidade para a venda dos excedentes, além da utilização de bagaço para a produção de ração animal,

levaram à adoção de medidas de conservação de energia que têm aumentado a eficiência das caldeiras (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Cerca de 1 por cento do bagaço produzido anualmente pela usina é vendido, misturado com outros ingredientes, como ração animal. A administração da usina tem mostrado interesse pelas técnicas de aumento de digestibilidade do bagaço que têm sido difundidas no Brasil.

Atualmente, aplica-se vinhaça a 7500 ha de cana, metade da área plantada. A irrigação com vinhaça diluída parece ter aumentado em 7 por cento a produção das duas variedades de cana mais largamente utilizadas na usina, a N14 e a NCo376. O percentual de açúcar presente na cana também aumentou. A produção média destes campos tem sido de cerca de 115 TC/ha -de 35 a 40 t/ha de matéria seca(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

3.2.1.3 Balanço de energia na destilaria

Utiliza-se energia em cada etapa da produção de etanol. Para este processo ser energeticamente eficiente é preciso que o total de energia extraído do produto final, no caso o etanol, seja maior que a somatória dos fluxos de energia que entraram no processo produtivo, desde a fase agrícola até a obtenção do produto final.(ROSENSCHEIN & HALL, 1991)

Na usina Triângulo o total de energia fornecida que foi alocada para a produção de etanol, na fase agrícola e industrial, foi igual a 320.600 GJ. O volume total do álcool produzido com o melaço e uma pequena proporção de açúcar, provenientes exclusivamente da usina Triângulo, foi de 28.887.000 litros na safra¹ 88/89. Considerando-se um potencial energético igual a 21,5 MJ por litro, o que perfaz um total de energia produzida igual a 621.000 GJ. A relação entre os totais de energia extraída e fornecida ao processo seria igual a 1,94, ou seja, 621.100 GJ / 320.600 GJ(ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Rosenschein & Hall (1991) observam, ainda, que, maximizando-se a produção de álcool durante a época de moagem, quando há pleno suprimento de bagaço, poder-se-ia reduzir a necessidade do uso de carvão. Considerando-se que toda a energia fornecida pelo carvão no processo de fabricação do álcool pudesse ser substituída -49 por cento do total-, a relação entre o output e o input de energia poderia ser de até 3,8 ou 4.

¹O período da análise compreendeu a fermentação e a destilação na usina entre abril de 1988 e março de 1989(ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Nem sempre, contudo, a produção de etanol na destilaria da usina zimbabuana era toda proveniente de mosto formado por melaço ou açúcar. Lewis (1984) nos informa sobre a questão energética da destilaria no início da década passada.

A percentagem da cana-de-açúcar plantada pela usina que se destina à produção de álcool é de 28 por cento. A energia destinada à sua produção é próxima a 71 por cento, por tonelada de cana equivalente², da energia destinada à produção de açúcar (LEWIS, 1984). Isto pode ser explicado pela energia adicional utilizada para a evaporação de todo o caldo misto destinado à produção de açúcar, até obter-se a massa cozida, bem como pela energia adicional utilizada nas operações de cozimento, centrifugação e secagem do açúcar.

3.2.1.4 Gerenciamento integrado usina-destilaria

Zimbábue, a ex-Rodésia, é um país de orientação socialista, com uma forte ingerência do estado na economia. A usina Triângulo, como já foi visto, tem grande importância estratégica para o país. A administração da usina é feita por administradores que trabalham no setor açucareiro há longo tempo, alguns há mais de quarenta anos. Eles participaram ativamente da revolução e tem uma visão política extremamente nacionalista, buscando a independência tecnológica de Zimbábue neste setor. A usina Triângulo é, porém, de capital privado (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Ao contrário do Brasil, onde, nas usinas anexas, as destilarias foram integradas como um anexo industrial de uma companhia industrial e ou comercial já existente, mesmo que, muitas vezes, com um corpo técnico com relativa autonomia, no caso de Zimbábue, a destilaria foi, desde o princípio, implantada como uma companhia independente da usina Triângulo, operando, contudo, de uma forma associada à mesma (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991). Os parágrafos a seguir são, também, baseados nos mesmos autores.

A usina criou uma escola de treinamento com equipamentos modernos, como equipamento de raio x para a realização de ensaios não destrutivos dos materiais, por exemplo, onde os alunos-trabalhadores são constantemente avaliados em função de seu performance. Os melhores qualificados recebem os melhores salários e as funções mais críticas, como a construção, inspeção e subsequente manutenção das colunas de destilação. A administração da

²Pode ser obtida considerando-se o caldo misto e o melaço destinado à produção de álcool, através de um balanço dos açúcares fermentáveis totais.

usina acredita que com isso o trabalhador apresente um melhor desempenho, pois se identifica e tem orgulho do equipamento sob a sua responsabilidade.

A política de recrutamento de pessoal da usina parece desempenhar um papel fundamental no desempenho tecnológico da mesma. A sua filosofia leva em conta o raciocínio "get up to seek the best" (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991). A usina oferece um dos melhores salários do país para engenheiros e técnicos especializados, recrutando os melhores alunos entre os universitários do país, bem como busca mão-de-obra qualificada no exterior. A mesma política é aplicada ao pessoal de nível técnico. Nota-se, aqui, uma diferença marcante em relação à média das usinas situadas no Brasil, onde os trabalhadores das mesmas, especializados ou não, dificilmente provem das melhores instituições de ensino do país, não sendo, frequentemente, remunerados de forma adequada.

A manutenção da usina e da destilaria é feita por uma mesma equipe, com vistas à redução de custos. A maior parte dos componentes de máquinas que apresentam falhas no funcionamento é substituída por componentes fabricados na própria usina ou em outras companhias de Zimbábue. A empresa segue uma política de manter a produção a qualquer custo, desta forma, quando da quebra de algum componente essencial, que deva ser trazido do exterior, a solução usualmente adotada é o isolamento da parte da linha de produção afetada e a manutenção das demais operações da usina.

Entre os objetivos atualmente perseguidos pela administração da destilaria com vistas a otimizar o processo de produção de álcool, segundo Scurlock, Rosenschein & Hall (1991), destacam-se:

- i) A adoção, em caráter experimental, da centrifugação e reaproveitamento das leveduras, que é um processo já difundido no Brasil e que pode economizar até 3 por cento do açúcar correntemente produzido pela usina. Atualmente, este percentual precisa ser utilizado como alimento durante o processo do crescimento das leveduras;
- ii) A importação de dois caminhões movidos a álcool, fabricados no Brasil, com a finalidade de analisar-se uma possível expansão na produção de álcool em Zimbábue;
- iii) O aumento da capacidade de estocagem de CO₂, o que permitiria uma redução no período de produção de álcool, diminuindo, portanto, o consumo de carvão e aumentando a eficiência energética da destilaria; e
- iv) O aumento na eficiência das caldeiras, como ocorreu com as últimas caldeiras que foram instaladas.

3.2.1.5 Perspectivas do programa do álcool em Zimbábue

A enorme variação dos preços do açúcar no mercado internacional -entre 130 e 300 US\$/ton em anos recentes- tem afetado pouco a indústria sucro-alcooleira zimbabuana (SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Metade da produção anual de açúcar -200.000 ton.- é destinada ao mercado interno, segundo os mesmos autores; o restante é vendido em cotas especiais de exportação à cerca de 450 US\$/ton para a União Européia, EUA, etc. A este preço, não há sentido em se efetuar uma análise econômica comparativa entre o valor recebido com a produção de álcool e com a venda de açúcar, sob estas cotas preferenciais. A venda de açúcar no mercado livre internacional, por outro lado, só teria sentido se a cota preferencial de exportação que o país tem fosse completamente atendida, o que não é, atualmente, o caso. Em Scurlock, Rosenschein & Hall (1991), também se baseiam os parágrafos restantes à respeito deste tópico.

Existe uma política de preços estabelecida entre o governo e a usina Triângulo que permite a manutenção de uma taxa de retorno para o investimento feito na instalação da destilaria de pelo menos 5 por cento a.a. Isto conduziu a um custo final entre US\$ 0,35 e US\$ 0,40 por litro de álcool -de US\$ 16,28 à US\$ 18,60 por GJ de energia contida- nos primeiros três anos de operação da destilaria. A gasolina que chega em Harare, capital do país, apresenta um custo final de US\$ 0,50/litro -US\$14.66/GJ de energia contida-, o que implica numa diferença de custo entre 11 e 27 por cento em favor da gasolina, em termos energéticos.

Assim, numa visão de curto prazo, uma análise puramente econômica seria impeditiva à produção de álcool em Zimbábue. Porém, devido aos fatores político-econômicos anteriormente citados, o país planeja não apenas manter, mas, também, aumentar a sua produção de álcool.

A produção atual de álcool da usina deverá ser estendida de 40 para 50 milhões de litros por ano, se não houver um aumento real na demanda por açúcar.

Uma segunda fase desta expansão, onde a produção de cana-de-açúcar seria aumentada de 2,3 até 3,0 milhões de toneladas, envolverá a construção de um segundo difusor, bem como a construção de um segundo reservatório de água para fins de irrigação, o de Tokwe-Mukorsi

Dam, fato que, atualmente, está em estágio de planejamento(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

Aliado a estes fatos, está sendo planejada a expansão da planta de produção de CO₂. Esta construção, aumentaria a capacidade de suprimento para a companhia Oxygen Industries Group of Zimbabwe-OXYCO, como, também, asseguraria o suprimento para uma possível planta de gelo seco e uma de engarrafamento na usina Triângulo.

Uma completa substituição da atual mistura de gasolina e álcool anidro por álcool hidratado esta sendo estudada pelos zimbabuanos. Eles têm levado em consideração em seus estudos que, entre outros fatores, a produção de álcool hidratado, ao invés de álcool anidro, implicaria num menor consumo de vapor, bem como em economia no capital inicialmente investido e na manutenção da destilaria, uma vez que não seria necessária a utilização de uma coluna de desidratação(SCURLOCK, ROSENSCHEIN & HALL, 1991).

3.2.2 O Programa do Álcool Carburante no Quênia

3.2.2.1 Introdução

O Programa de Álcool Carburante no Quênia, como outros programas similares planejados na década de setenta tendo por finalidade economizar divisas para o país, através da substituição parcial do encarecido petróleo importado por álcool produzido internamente, foi motivado, também, por um baixo preço do açúcar no mercado internacional e pelo aumento do custo de transporte deste bem de consumo(JUMA, 1986).

Planejou-se, desde a metade da década de setenta, a implantação de duas destilarias que permitiriam a mistura de etanol em toda a gasolina do tipo premium, que, além do tipo regular, é consumida no país(STUCKEY & JUMA, 1985).

Pouca capacitação técnica, falta de recursos financeiros, uma política tecnológica equivocada, um regime governamental fechado e com uma tecnocracia tradicionalmente esbanjadora do dinheiro público, levaram, contudo, à implantação de um programa com produção bem menor que a inicialmente planejada e a um custo, para o país, astronomicamente maior do que teria sido necessário(JUMA, 1986).

3.2.2.2 Contexto existente no Quênia à época

O modelo de consumo de energia no Quênia está diretamente associado ao poder aquisitivo da população, à sua distribuição geográfica, à sua dinâmica populacional e a outros fatores. Aproximadamente 80 por cento da população do Quênia vive na zona rural, onde a madeira é a principal fonte de energia. Em termos de uso final, aproximadamente três quartos da energia consumida no país provém de fontes não comerciais, como a madeira e resíduos agrícolas. A maior parcela das fontes comerciais de energia -87 por cento- é obtida de produtos petrolíferos(STUCKEY & JUMA, 1985).

O Quênia opera uma destilaria de petróleo em Mombaça desde 1964. A capacidade de refino é de 4,2 milhões de toneladas de óleo cru por ano, mas a sua produção anual tem sido por volta de 3,6 milhões. Alguns derivados de petróleo são exportados para Uganda, Ruanda e Burundi. Antes do primeiro choque do petróleo o país exportava mais da metade dos subprodutos refinados; com o aumento de consumo local, contudo, em 1982 apenas 40 por cento do total de petróleo refinado era exportado(STUCKEY & JUMA, 1985).

O país não é auto-suficiente na produção de alimentos, ao contrário, ele é um importador. O Quênia parece não possuir, também, mecanismos institucionais que privilegiem a utilização de suas terras agricultáveis para o atendimento das necessidades alimentícias básicas de sua população(STUCKEY & JUMA, 1985).

A situação do Quênia, neste aspecto, tristemente se assemelha à brasileira. Assim, ao se discutir a questão da competição entre as culturas alimentícias e a da cana-de-açúcar, faz-se necessário o estabelecimento de uma política agrícola e agrária adequada às necessidades da população do país.

3.2.2.3 Histórico da implantação das destilarias no Quênia

A produção de açúcar refinado no Quênia começou na década de vinte com a implantação das refinarias de Muwani e Ramisi. Outras seis refinarias foram implantadas entre

1966 e 1980. A recuperação de açúcar, em termos de percentual do peso da cana moída, varia entre cerca de 11,1 por cento, para as duas mais novas refinarias, e 7,0 por cento, para a refinaria Muwani, a mais antiga de todas(STUCKEY & JUMA, 1985).

Originalmente, as destilarias de álcool planejadas deveriam utilizar o melaço, subproduto das refinarias, como matéria-prima. A produção nacional de melaço que era de 45.000 toneladas em 1970, aumentou para 65.000 em 1975(STUCKEY & JUMA, 1985).

Várias propostas para a implantação de destilarias foram submetidas ao cunho do governo em 1977. Duas destas propostas foram submetidas por famílias locais, Madhvani e Mehta, que possuíam longo envolvimento na fabricação de açúcar na África Oriental. O grupo Mehta, que já controlava duas refinarias de açúcar no Quênia, pretendia investir capital no aproveitamento do subproduto de suas empresas. O grupo Madhvani havia sido expulso recentemente de Uganda, pelo regime de Amim, e estava começando a estabelecer-se na indústria açucareira queniana(JUMA, 1986).

O país, não dispondo de experiência prévia na produção de etanol, com pouco desenvolvimento tecnológico e com escassez de recursos financeiros próprios, aprovou somente as propostas apresentadas por estas duas famílias, principalmente por elas terem conseguido altos empréstimos no exterior para a implantação dos seus projetos. Esse vínculo financeiro e uma política tecnológica equivocada comprometeram os projetos desde o seu início, uma vez que os estudos de detalhamento destes projetos e a sua implantação foram conduzidos por firmas estrangeiras com profundos interesses comerciais e financeiros no projeto(JUMA, 1986).

Num misto de corrupção de muitos, ingenuidade de outros e ignorância da maioria da população do país, os altos escalões do governo queniano co-assinaram, precipitadamente, os empréstimos efetuados por estas duas famílias, dispondo o governo como fiador. Iniciava-se, assim, uma longa história de desassombroso saque ao dinheiro público, especialmente no caso da destilaria Madhvani(JUMA, 1986).

O contrato assinado para a construção da destilaria Madhvani incentivava a compra dos mais diversos e tecnologicamente requintados equipamentos. Isto permitia um aumento na margem de lucro das companhias estrangeiras envolvidas no projeto. Assim, associadas à destilaria, iniciou-se a construção de plantas que se utilizam de subprodutos da produção do álcool, como matéria-prima para outro tipo de produção. A proposta inicialmente aprovada para a implantação da destilaria de Madhvani previa a produção anual de 9,24 milhões de litros

de álcool, 1.000 toneladas de fermento, 2.200 toneladas de ácido cítrico e 1,7 milhões de litros de vinagre(JUMA, 1986).

O custo total foi inicialmente previsto para US\$ 60,4 milhões, sendo que não se especificava, ao menos, a percentagem desse montante que se destinava à compra de maquinário para cada tipo de planta. O governo do Quênia comprou um pacote fechado(JUMA, 1986).

À medida que a construção prosseguia, o orçamento inicial, que já era astronômicamente alto, crescia mais ainda. A compra de equipamentos inúteis, o pagamento de propinas e uma administração marcada por descabros financeiros de toda ordem, fez crescer a oposição ao projeto. A nível nacional houve a ação da imprensa, de companhias envolvidas com o refino de petróleo e a distribuição de seus derivados, de proprietários que teriam suas terras confiscadas pelo governo para a sua utilização na produção de cana-de-açúcar -para suprir a joint-venture com controle estatal em que se transformara a companhia Madhvani- e a oposição de órgãos governamentais relativamente independentes. A nível internacional, houve a oposição do Banco Mundial e do Fundo Monetário Internacional. Todos estes fatores conseguiram pressionar o governo para que fizesse uma revisão no projeto(JUMA, 1986) e (STUCKEY & JUMA, 1985).

Durante o período de construção o capital sendo investido na planta começou a aumentar vertiginosamente. Até que, ao final de 1982, tomou-se por encerrada a construção do complexo da usina Madhvani. No seu término, a obra inacabada consumira quase US\$ 200 milhões(STUCKEY & JUMA, 1985).

O grupo Mehta, ao contrário do grupo Madhvani, conseguiu sucesso na sua empreitada ao implantar uma destilaria no Quênia, apesar de não ter sido um sucesso retumbante, quando comparado com outros exemplos mais bem sucedidos internacionalmente. Entre as várias razões do seu sucesso, a principal talvez seja o fato de ter sido uma empreitada realizada por um grupo do setor açucareiro no país, com a necessária "vontade" político-econômica para que o empreendimento fosse bem sucedido(JUMA, 1986).

A destilaria Mehta iniciou suas operações em junho de 1982, e, desde então, vem produzindo etanol, que é utilizado pelos veículos de Nairobi. A mistura é composta por 25 por cento de gasolina comum, 65 por cento de gasolina tipo premium e 10 por cento de álcool. Antes da introdução da mistura de combustíveis, testes de desempenho foram conduzidos pelo governo em colaboração com a Universidade de Nairobi, utilizando 4.000 litros de etanol, importados de Zimbábue(STUCKEY & JUMA, 1985).

3.2.2.4 Características gerais da destilaria Mehta

A destilaria Mehta utiliza apenas melaço -que é diluído em água até atingir uma densidade igual a 1,2, formando o mosto- como matéria-prima para a fabricação de álcool. Formado o mosto, este é clarificado, aquecido até uma temperatura de cerca de 130°C para esterilização e, a seguir, armazenado em tanques intermediários a uma temperatura aproximadamente igual a 80°C. O mosto é resfriado antes de ser enviado à fermentação e, durante a mesma, é mantido a uma temperatura aproximadamente igual a 35°C (STUCKEY & JUMA, 1985).

É utilizado um processo de fermentação contínua, de origem austríaca. O tempo de fermentação na usina varia entre 8 e 18 horas. Recicla-se o fermento depois que este é separado do vinho, o qual possui um teor alcoólico, em volume, da ordem de 8 a 9 por cento. Os parágrafos a seguir são, também, baseados em Stuckey & Juma (1985).

Após a fermentação, o vinho é bombeado para um trocador de calor de placas e, a seguir, para a coluna de exaustão, onde o dióxido de carbono é removido, seguindo depois, para a destilação. Os vapores alcoólicos deixam a primeira coluna de destilação com um teor alcoólico da ordem de 50 por cento em volume, formando o flegma. Da coluna de esgotamento o flegma dirige-se para a coluna de retificação, onde é concentrado até 94,6 por cento em volume. A seguir, o álcool é concentrado até próximo a 99,8 por cento, em volume, na coluna de desidratação. Utiliza-se benzeno como agente desidratante.

A vinhaça produzida durante a destilação tem 9 por cento de sólidos secos. Ela é evaporada até conter de 60 a 65 por cento de sólidos secos e, então, é depositada em lagoas de tratamento.

Em média, a destilaria produz 283 litros por tonelada de melaço com 50 por cento de açúcares fermentáveis. Considerando-se que, teoricamente, uma tonelada de melaço com esta concentração de açúcares é capaz de produzir 305 litros de álcool, a eficiência da destilaria é igual a 93 por cento.

A tabela 3.1 fornece alguns dados referentes à produção e à capacidade de alguns equipamentos e sistemas da usina Mehta.

Tabela 3.1 Características técnicas da destilaria Mehta

Produtos	Produção Anual
Alcool anidro	18.000.000 litros
Fermento seco	1.200 toneladas
Fermento para alimentação animal	500 toneladas
Vinhoto	29.000 toneladas
Alcool refinado	3.600 litros
Óleo fúsel	144.000 litros
Sistemas	Capacidades
Tanques de armazenamento	6.800 metros cúbicos
Tanques de aeração	2.400 metros cúbicos
Lagoas de estabilização da vinhaça	30.000 metros cúbicos
Sistema Elétrico	Capacidades
Linhas de 33 kV	3.000 metros
Linhas de 11 kV	300 metros
Potência conectada	2,2 MW
Potência utilizada	1,4 MW
Fiação	15.000 metros

Fonte: (STUCKEY & JUMA, 1985)

3.2.2.5 Balanço de energia da usina Mehta

O balanço de energia efetuado por Stuckey & Juma (1985) na produção de álcool da usina Mehta leva em consideração apenas a energia utilizada diretamente na destilaria e no processo de evaporação do vinhoto, sem considerar a energia despendida à montante da produção do mosto. Não leva em consideração, também, a energia gasta na fabricação dos equipamentos que compõem a destilaria, a energia gasta pelos trabalhadores, etc.

Este cálculo, embora incompleto, sob o ponto de vista estritamente energético, pode ser justificado sob o ponto de vista de uma análise micro-econômica. Lembrando-se que a destilaria é anexa, ou seja, que os gastos energéticos que não estão diretamente relacionados

com a destilaria já existiam previamente à sua instalação, pois é o melaço a matéria-prima para se fabricar o álcool, desta forma, o procedimento utilizado para a realização do balanço energético por Stuckey & Juma (1985) é compreensível.

Portanto, desde que a destilaria Mehta utiliza unicamente melaço para a sua produção de álcool, as considerações energéticas excluíram a energia utilizada na produção, transporte e processamento da cana-de-açúcar. A destilaria foi construída a 200 metros da antiga fábrica de açúcar, e dela recebe parte do melaço e todo o vapor que necessita para a produção de álcool.

A tabela 3.2, abaixo, mostra as necessidades de vapor e eletricidade da destilaria, em função das várias etapas de produção consideradas.

Tabela 3.2 Consumo anual parcial de energia em função dos requerimentos da destilaria

Etapa do Processo ou Produto	Consumo de Vapor ou de Eletricidade	Energia (x 10 ⁶)
Etanol	82.476 ton. vapor/ano	239,5 MJ
Fermento seco	6.942 ton. vapor/ano	20,1 MJ
Evaporação	43.730 ton. vapor/ano	127,0 MJ
Tratamento do efluente	577 MWh	2,0 MJ

Fonte: (STUCKEY & JUMA, 1985)

Como o consumo de energia encontra-se repartido entre as várias etapas do processo na destilaria, é difícil efetuar-se o balanço de energia com muita precisão. Contudo, um balanço parcial pode ser obtido através da análise do consumo de vapor e de eletricidade. A produção de um milhão de litros de etanol requer 13.362.494 MJ de energia na forma de vapor -considerando-se 2.904,8 MJ por tonelada de vapor a uma pressão igual a 10 bars- e 120MWh, ou 432.000 MJ, de eletricidade. O consumo de energia na destilação, é, então, igual a 13,79 MJ por litro(STUCKEY & JUMA, 1985).

Considerando-se estes dados, fornecidos por Stuckey & Juma (1985), obtém-se um consumo na destilaria igual a 4,6 kgv/l³ . Este consumo é próximo ao consumo médio estimado para as usinas e destilarias paulistas(SINICIO, 1992). Não foi levado em

³13.362.494MJ/milhão de litros dividido por 2.904,8 MJ/tonelada de vapor.

consideração o vapor consumido na secagem do fermento e na evaporação da vinhaça, a qual, aparentemente, é direcionada para lagoas de tratamento ao invés de ser utilizada como fertilizante, como costuma ocorrer nas usinas brasileiras.

O balanço de energia da destilaria Mehta apresenta um desempenho típico, porém, quando se considera o total de energia, na forma de vapor e eletricidade, que é fornecido ao processo -numa base de 1 milhão de litros de álcool a serem produzidos-, 19.746.742 MJ, pode ser observado que este valor é praticamente igual a energia total que pode ser obtida na forma de álcool, 21.500.00 MJ. A relação entre estes dois fluxos de energia fornece um coeficiente igual a 1,08878, que é bastante baixo(STUCKEY & JUMA, 1985).

Considerando-se tanto o vapor gasto diretamente na produção de álcool quanto o que foi consumido na evaporação⁴, o consumo específico de vapor da destilaria Mehta eleva-se para quase 7,649 kgv/l. Este é um valor bastante alto e poderia ser grandemente reduzido com a eliminação da evaporação da vinhaça que, até mesmo in natura, é utilizada como fertilizante para aplicação na lavoura da cana-de-açúcar. Mas é preciso que haja condições físicas e econômicas para tanto⁵, o que aumentaria consideravelmente a eficiência energética da destilaria(STUCKEY & JUMA, 1985).

3.2.2.6 Gerenciamento da destilaria

A destilaria Mehta é anexa a uma usina de açúcar, portanto os seus custos de vapor e matéria-prima são relativamente baixos. A destilaria compra vapor da usina a um preço igual a US\$ 11,7 por tonelada. A usina também supre parte das suas necessidades de melaço. Operando ao longo de 300 dias por ano, a destilaria consome diariamente cerca de 227 toneladas de melaço, que equivale a aproximadamente 6.100 toneladas de cana por dia. A destilaria adquire o restante do melaço necessário para atender as suas necessidades junto às usinas Chemelil e Sony, a um preço igual a US\$ 14,4 dólares por tonelada(STUCKEY & JUMA, 1985).

⁴A evaporação pode ser entendida, aqui, como o consumo de vapor gasto na concentração da vinhaça e na secagem do fermento.

⁵A disponibilidade de calcáreo para diminuir a acidez do solo e a existência de uma topografia favorável, são algumas das condições que viabilizam mais facilmente a utilização do vinhoto na irrigação, em não havendo a necessidade da realização dos grandes investimentos.

Enquanto a maioria dos insumos e produtos associados com a produção de etanol têm preços controlados, o mesmo não ocorre com o melaço. Isto ocorre, principalmente, porque durante muito tempo o melaço teve um mercado consumidor muito limitado e, conseqüentemente, um baixo custo de oportunidade (STUCKEY & JUMA, 1985).

É difícil de se prever qual será o comportamento do preço do melaço no longo prazo, a menos que o governo passe a controlá-lo. Se o preço do melaço não for fixado num patamar relativamente baixo, o aumento do custo de oportunidade do mesmo tenderá a diminuir a margem de lucro da produção de etanol. Por outro lado, a fixação do preço do melaço sendo feita num patamar muito baixo por decreto, o lucro dos produtores de melaço se transfere, em parte, para a produção de álcool. Contudo, uma vez que o governo já está comprometido com a produção de álcool, a fixação do preço do melaço deverá ser equiparada. É o que se pode concluir de Stuckey & Juma (1985).

Assumindo-se os preços de 1982, os custos da matéria-prima na destilaria Mehta eram responsáveis por apenas 13 por cento do total dos custos da sua produção de etanol (STUCKEY & JUMA, 1985).

3.2.2.7 O futuro do Programa Nacional de Álcool no Quênia

O futuro do Programa Nacional de Álcool no Quênia depende, entre outros, de dois fatores político-econômicos:

- i) O custo da produção do litro de álcool e, em contraparte, o preço do petróleo; e
- ii) A correlação de forças entre os diferentes interesses existentes, representados parcialmente pela destilaria e seus associados de um lado, e a refinaria de petróleo do Quênia juntamente com as companhias distribuidoras de derivados de petróleo do outro.

A capacidade de pressionar o governo na determinação da futura política energética do país, à margem da sociedade em geral, aparentemente determinará o futuro do Programa Nacional do Álcool no Quênia. O país, contudo, não tem sido uma ditadura mantida a ferro e fogo no meio da África, e, mesmo com a corrupção que graça pelo país, o governo central tem sido sensível a interesses da sua população. O governo tem, também, profundos interesses

econômicos tanto no refino e na distribuição dos derivados de petróleo quanto na produção de álcool(JUMA, 1986).

Os componentes do custo de produção de álcool no Quênia foram obtidos por Stuckey & Juma (1985) junto à companhia Agro-Chemical and Food Company e estão expressos na tabela a seguir.

Tabela 3.3 Estrutura do custo de produção do álcool na destilaria Mehta.

Componente	US\$ por 1000 litros	Percentual do Custo Total
Matéria-prima	65	11,7 - 13,0
Produtos químicos, auxiliares e energia	155	27,8 - 31,0
Trabalho, vendas, administração	89 - 97	17,4 - 17,6
Impostos	192 - 241	38,4 - 43,2
Total	500 - 558 *	100,0

Fonte: (STUCKEY & JUMA, 1985)

* Equivale a KSh⁶ 5,3 a 5,9/litro, ou a US\$ 0,5 a 0,56/litro

A tabela 3.3 é muito esclarecedora quanto aos ganhos do governo com a manutenção do projeto. O governo queniano se apropria, na forma de impostos, de cerca de 40 por cento do custo de produção do álcool. É difícil imaginá-lo, desta maneira, assumindo uma política energética contrária à produção de álcool. Apesar dos enormes impostos que recaem sobre o etanol, este apresenta um custo total de produção que não é muito diferente dos apresentados em programas similares em outros países. No caso queniano isto é conseguido devido ao baixo preço que a destilaria paga aos seus fornecedores de matéria-prima, que é o melaço. Este preço é bem abaixo do preço pago aos fornecedores de cana-de-açúcar no Brasil, onde a matéria-prima é tida como responsável por quase 60 por cento do custo final do álcool. No Quênia, como se pode observar na tabela acima, a matéria-prima é responsável por apenas 13 por cento do custo final do álcool.

⁶O KSh, ou xelim queniano, é a unidade monetária do Quênia. Pelos valores expressos no texto original, infere-se que foi utilizada uma taxa de câmbio onde US\$ 1,00 equivale a cerca de KSh 10,6.

O mercado de gasolina no Quênia expandiu-se rapidamente nos anos setenta. Houve um pico em 1979, durante um período de desempenho particularmente favorável da cultura do café. Mas a subsequente transferência do grande aumento no preço do petróleo que houve naquele ano para a gasolina fez com que o consumidor mudasse da gasolina mais cara, a premium, para a mais barata, a regular. Conforme Stuckey & Juma (1985), podia se observar que o preço do litro de gasolina premium na bomba era, em 1982, de cerca de US\$ 0,69 em Nairobi, capital do Quênia.

O mercado de gasolina no Quênia é muito concentrado, o que deveria facilitar a introdução de um novo tipo de gasolina, contendo etanol, no país. Nairobi, por exemplo, é responsável por cerca de 80 por cento do consumo nacional de gasolina premium, estimado entre 450.000 e 500.000 litros por dia em 1982⁷(STUCKEY & JUMA, 1985).

As projeções iniciais da demanda de etanol foram baseadas no crescimento projetado da gasolina premium: assumiu-se uma taxa de crescimento anual igual a 2 por cento. Contudo, durante 1983, a demanda por gasolina premium, assim como por etanol, havia caído para aproximadamente a metade⁸(STUCKEY & JUMA, 1985).

A economia de divisas que a destilaria Mehta poderia significar para o país foi diminuída pelo fato da planta não estar operando a plena capacidade. A sua operação a baixa capacidade conduz não apenas a uma baixa taxa de retorno para o investimento, mas também reduz o potencial de economia de divisas na operação de importação de petróleo. Enquanto o tempo de retorno do investimento é prolongado, as despesas em moeda estrangeira com o serviço da dívida, a importação de peças de substituição e outros serviços continuam a ser atendidas(STUCKEY & JUMA, 1985).

3.2.3 O Programa de Álcool em Malavi

Malavi é um pequeno país sem fronteiras marítimas inteiramente dependente de uma economia agrícola para obter divisas com exportações. Malavi tem estado na linha de frente na produção de etanol para ser utilizado como combustível. Os motivos mais importantes para

⁷Considerando-se um ano de 365 dias, e os dados de Stuckey & Juma (1985), o consumo anual de gasolina premium em 1982 deveria estar compreendido na faixa entre 164 e 183 milhões de litros.

⁸É interessante lembrar-se que a destilaria Mehta começou a operar em junho de 1982 e fora projetada para produzir 18 milhões de litros de álcool por ano, álcool que seria misturado numa proporção fixa, em volume, igual à 10% na nova gasolina chamada de premium.

este fato têm sido a contínua deteriorização do sistema regional de transporte e uma insegurança com relação a Moçambique, seu caminho natural para o mar. Ambos os motivos têm causado frequente escassez de petróleo e de seus derivados(ROSILLO-CALLE et alii, 1992).

O Malavi iniciou seu programa de álcool em 1982, utilizando etanol de uma destilaria localizada na usina de Dwangwa, com uma capacidade de produzir 10 milhões de litros por ano. Esta destilaria, a Ethanol Company Ltd-Ethco, produz etanol a partir de melaço e de uma certa quantidade de açúcar mascavo de uma forma eficiente e rentável. A Ethco tem sido, também, o motor propulsor do desenvolvimento de várias aplicações para o etanol, quer seja para uso em mistura com a gasolina, como substituto para o óleo diesel ou como combustível para lamparinas. Ela tem procurado, também, produzir etanol a partir de mandioca e de cavacos de madeira(ROSILLO-CALLE et alii, 1992).

A Ethco atualmente produz etanol para suprir uma mistura de 15 por cento na gasolina a nível nacional, índice que poderia ser facilmente elevado para 20 por cento. Uma produção anual de 20 milhões de litros poderia ser alcançada com um investimento mínimo de capital se as instalações de fermentação e destilação fossem operadas durante todo o ano. Uma outra opção sendo considerada é a possível instalação de uma segunda destilaria perto da região de Sucoma, onde o melaço tem pouco ou nenhum valor econômico. Existe potencial até para dobrar a produção atual de etanol e, no longo prazo, produzir o suficiente para substituir completamente a gasolina importada. A demanda atual de gasolina é de aproximadamente 60 milhões de litros por ano e a de óleo diesel é de 80 milhões de litros(MONCRIEF & WALKER, 1988).

Se os resultados dos experimentos com etanol puro como combustível, que estão sendo feitos em uma pequena frota, cerca de 1500 veículos modelo Land Rovers pertencentes ao governo, indicarem que apenas uma pequena substituição de óleo diesel por álcool pode ser alcançada, tanto para fins de transporte quanto para o uso na agricultura, Malavi poderia substituir no máximo de 10 a 20 milhões de litros de petróleo importado no médio prazo(ROSILLO-CALLE et alii, 1992).

Em termos de matéria-prima disponível para a produção de etanol em Malavi, Steingass et alii (1988) estimam que o excedente de melaço e o açúcar vendido a preço de mercado mundial seriam a matéria-prima mais barata, e que ambos seriam suficientes para suprir uma capacidade duas vezes maior que aquela atualmente instalada para a produção de

etanol em Malavi. Além deste novo patamar, devem ser consideradas fontes alternativas de matéria-prima (ROSILLO-CALLE et alii, 1992).

Uma alternativa sob consideração, porém a um prazo muito mais longo, é a produção de açúcares fermentáveis a partir de sobras das parreiras da atividade de silvicultura na floresta de Viphya, no norte do país. É estimado que este recurso natural, a um custo hoje igual a zero, poderia fornecer matéria-prima fermentável para a produção adicional de 50 milhões de litros de etanol por ano (MONCRIEFF & WALKER, 1988).

Em suma, as principais razões para o estabelecimento de um programa de etanol em Malavi foram: a contínua deteriorização e insegurança no suprimento do petróleo e seus derivados; considerações estratégicas e a disponibilidade de matéria-prima a baixo custo. Como em Zimbábue, o uso de tecnologia não sofisticada e adaptável às condições locais também teve grande importância para o sucesso do programa, embora o suporte político, aqui também, tenha sido vital para este sucesso (ROSILLO-CALLE et alii, 1992)

3.2.4 Conclusões Sobre a Produção de Álcool Carburante em Zimbábue, Quênia e Malavi

Nos três países africanos analisados, a conjunção dos preços baixos do açúcar no mercado internacional em meados da década de setenta com os efeitos do primeiro choque do petróleo, foi apenas um dos motivos que conduziram estes países a optarem pela instalação de programas de álcool carburante. Todos os três países estão, também, em vias de desenvolvimento e têm uma forte participação da agricultura na formação dos seus PIBs, situação similar à de outros países africanos que nem por isso instalaram programas parecidos.

A razão principal para que tanto o Zimbábue quanto Malavi iniciassem programas de álcool carburante parece ter sido, portanto, a necessidade estratégica de terem um certo grau de independência na disponibilidade de combustíveis líquidos, uma vez que ambos não têm fronteiras marítimas e estão cercados de nações com as quais mantêm relações instáveis.

Além disso, tanto Malavi como Zimbábue, através da adaptação e uso de tecnologia mais simples, se utilizam das suas destilarias para produzirem outros produtos além do álcool carburante para fins automotivos. Empregando mão-de-obra bastante qualificada para o seu atual nível de desenvolvimento e investindo em pesquisas nesta área, estes países acentuam a

importância estratégica de suas destilarias também como uma espécie de "complexos agroindustriais".

Todos os três países iniciaram a produção de álcool anidro a partir de melão disponível a baixo custo no mercado interno e, também, parcialmente importado no caso de Zimbábue. Mantiveram-se apenas na produção deste tipo de álcool carburante que, como é notório, dadas as suas condições de queima, apresenta um rendimento bem maior que o do álcool hidratado. Além disso, como também é notório, é muito mais barato a produção de etanol a partir de melão em uma destilaria anexa a uma indústria açucareira já existente que a partir de uma destilaria autônoma criada especificamente para esta finalidade. Este fato só foi possível porque os três países eram tradicionais produtores de açúcar.

A razão principal da instalação de um programa de álcool carburante no Quênia, contudo, parece, inicialmente, ter sido bem diferente dos outros dois países considerados aqui. É claro o interesse de membros do governo daquele país no uso do programa como uma forma de enriquecimento ilícito.

Mas a questão de "timing" foi, também, bastante relevante ao sucesso parcial destes programas. Conforme pode ser observado na tabela 3.6, ao final deste capítulo, no período compreendido entre 1980 e 1985 houve uma queda brutal dos preços do açúcar no mercado internacional, ao mesmo tempo em que o preço internacional do petróleo ainda era mantido em patamares elevados. A destilaria Triângulo, em Zimbábue, começou a operar em 1980; a destilaria Mehta, no Quênia, começou a operar em junho de 1982; e, em Malavi, a produção de álcool anidro também começou a partir de 1982. Ou seja, estas destilarias encontraram um ambiente relativamente favorável nos seus primeiros anos de operação para a colocação de seu produto no mercado interno.

A elevada margem de impostos cobrada pelo governo do Quênia sobre o álcool carburante, o que é possível devido ao baixo preço pago ao produtor de melão naquele país⁹, a necessidade estratégica por um combustível líquido produzido internamente no Zimbábue, e em Malavi, são fatores que devem permitir a continuidade da produção de álcool carburante nestes países, mesmo com o preço do petróleo tendo caído abaixo do patamar de 20 dólares por barril após 1986, e tendo se mantido neste nível até então.

Daí a importância do "timing". É muito mais difícil, por questões econômicas, um país em desenvolvimento optar pela introdução da produção de álcool carburante na conjuntura energética atual do que o foi no período compreendido entre 1975 e 1985.

⁹Enquanto se pagava cerca de US\$ 13,00 pela tonelada de melão no Quênia, na América Central este preço variava entre US\$ 50,00 e US\$ 100,00, conforme será visto mais detalhadamente adiante.

Mesmo durante aquele período, em que o petróleo apresentava preços altos e no qual foram instalados a maioria absoluta dos programas de produção de álcool carburante, o custo final do álcool normalmente excedia o preço final da gasolina que ele substituíria. Por outro lado, em todos os países onde ocorreu a instalação de destilarias, anexas ou não, naquele período, para a produção de álcool carburante e estas destilarias prosperaram nos anos seguintes à sua instalação, houve uma ação coordenada e usualmente coercitiva de um governo forte sobre empresas do setor de energia e da iniciativa privada e, por conseguinte, sobre o consumidor final, de maneira a que o álcool passasse a ser consumido. O caso africano não é exceção a esta regra.

A seguir, é feita uma breve descrição do panorama geral existente nos três países considerados no período de tempo analisado, segundo a ordem de aparição neste texto.

Zimbábue: Esta ex-colônia recebe a independência oficial da Grã-Bretanha em 1980, sendo que, no mesmo ano, ocorrem eleições. Robert Mugabe é eleito Primeiro Ministro do país e permanece na chefia desta nação desde então. A última notícia relevante sobre este povo, é que existia uma coexistência relativamente pacífica entre as comunidades brancas e negras naquele país. Embora houvessem graves problemas com relação à reforma agrária sendo estabelecida (ALMANAQUE ABRIL, 1994).

Quênia: Após lutas nacionalistas, é estabelecida uma república nesta ex-colônia britânica no ano de 1964. No país recém formado, Jomo Keniata é o líder oficial. Quando este falece, em 1978, assume o seu vice, Daniel Arap Moi. Acusado de corrupção e fraude o Sr. Daniel Arap Moi assume o seu quarto mandato consecutivo em 1992 (ALMANAQUE ABRIL, 1994).

Malavi: Antigo dissidente desta ex-colônia britânica, conhecida anteriormente como Niassalândia, o Sr. Hastings Kamuzu Banda é, após o estabelecimento de uma nova constituição, designado ao posto de 1º Ministro. Entre 1963 e 1993 o Sr. Kamuzu esteve no poder, contudo, após estes trinta anos prometia reformas mais abrangentes (ALMANAQUE ABRIL, 1994).

3.3 Produtores de Álcool Carburante na América Latina

3.3.1 Introdução

A respeito da produção de álcool para uso automotivo, Rosillo-Calle et alii (1992) afirmam: que a América Latina, onde destaca-se o Brasil, é a maior região produtora de etanol a nível mundial. Há muitos países considerando a opção pelo bioetanol, entre eles a Costa Rica, Honduras, Paraguai, Bolívia, etc. A Argentina estabeleceu o "Plan National de Alconafta", em 1982, que mistura 15 por cento de álcool anidro à parte de sua gasolina. A capacidade total instalada na Argentina em 1984 era de 380 milhões de litros por ano. Por outro lado, Thomas (1992) afirma que na América Latina não apenas o Brasil e a Argentina já têm programas instalados para a produção de álcool carburante, mas que também o Paraguai produz etanol para misturar à gasolina para atender pelo menos parte das necessidades do país na área de transporte.

Na realidade, vários países da América Latina estão produzindo etanol para utilização como álcool carburante, como discutido a seguir. Em todos os casos a dimensão dos programas é muitas vezes menor que o similar brasileiro. Analisa-se, na sequência deste capítulo, programas que foram instalados oficialmente pelos governos de seus países e continuam a existir, produções localizadas que podem existir extra-oficialmente, destilarias que iniciaram suas atividades vinculadas a um programa governamental que fracassou e estudos sobre alguns países que têm potencial para a implantação de programas de álcool carburante na América Latina. O Brasil, por vários motivos, será considerado em um capítulo à parte, também em função da grandeza relativa de seu alto volume de produção de etanol, sem paralelo no mundo até o presente.

3.3.2 O Programa do Álcool Carburante na Guatemala

3.3.2.1 Introdução

O Programa Nacional do Álcool na Guatemala está apenas começando. Até 1988 existia apenas uma destilaria produzindo etanol no país. Existia, porém, perspectiva de

ampliação desta produção. Este tópico se baseia quase que, exclusivamente, em Alvarez (1991).

A Guatemala importa todos os seus combustíveis de origem fóssil. O país busca implementar um programa para produção de combustível internamente, buscando uma melhoria na balança comercial do país e uma maior independência estratégica, o que é referencial comum aos programas similares. Na Guatemala, a tradicional dependência econômica do país em relação à agricultura e especialmente à produção de açúcar -situação comum aos países da América Central - fez com que um programa de produção de combustíveis alcoólicos adquirisse uma grande relevância.

Álcool para a Guatemala não significa apenas uma alternativa energética, mas tornou-se parte da política agrícola e econômica. Agrícola porque esta fonte de energia provém diretamente de atividades agrárias, e econômica porque a exportação de açúcar tem um importante papel nas finanças do país(ALVAREZ, 1991).

Existe uma expectativa no país com relação à implantação do Plano Nacional de Consumo e Comércio de Álcool, baseado no cumprimento de uma lei aprovada em 1985, que representou o desejo do governo e de 20 usinas de açúcar, representadas pela ASAZGUA, a Associação Guatemalteca de Produtores de Açúcar(ALVAREZ, 1991).

O programa é baseado na expectativa de produção de aproximadamente 4 milhões de galões¹⁰ de álcool por ano, inicialmente, com o aumento do volume de produção da única destilaria guatemalteca atualmente em operação, a destilaria de Palo Gordo. Contudo, é esperado um volume anual de produção de aproximadamente 12 milhões de galões de álcool nos próximos quinze anos, à medida que o programa for sendo implantado(ALVAREZ, 1991).

Ao contrário de outros programas similares, o programa guatemalteco prevê a produção de álcool não apenas para o mercado interno, mas, também, com vistas à exportação, no caso, para o mercado americano. A Guatemala pretende aproveitar-se, para tanto, dos acordos comerciais bilaterais existentes entre o Caribe e os Estados Unidos, bem como das leis ambientais americanas, que visam a eliminação da adição de chumbo na gasolina, através da substituição deste metal por etanol e metanol, bem como pelos derivados destes alcoóis.

¹⁰Um galão é igual a 4,55 litros pelo sistema de unidades britânico e igual a 3,785 litros pelo sistema de unidades adotado nos Estados Unidos. Como a Guatemala é fortemente influenciada pelos Estados Unidos, é mais provável que Alvarez (1991) tenha adotado um valor igual a 3,785 litros para o galão de etanol.

3.3.2.2 Contexto geral à época

De acordo com o Ministério das Minas e Energia da Guatemala existe um mercado potencial no país para aproximadamente dez milhões de galões de álcool por ano. Para suprir tal mercado, porém, seria necessária a instalação de pelo menos mais três usinas do porte de Palo Gordo. Além disso, a instalação de destilarias adicionais que viessem a produzir álcool para a exportação é buscada pelo programa.

Já existem leis regulamentando a produção de álcool no país. A usina de Palo Gordo parece ter sido uma experiência piloto para que os guatemaltecos julgassem a viabilidade de um programa do álcool, que parece ter recebido um parecer favorável quanto a sua operação e até mesmo quanto a sua expansão. Contudo, o Ministério das Minas e Energia parece estar mais entusiasmado que as usinas produtoras de açúcar, pois, até 1991, ou por falta de financiamento ou por descrença no programa, tais usinas ainda não haviam iniciado a implantação de uma segunda destilaria.

Alvarez (1991), parece ter, também, a intenção de chamar a atenção das autoridades americanas para o programa guatemalteco, talvez como uma parte de uma política do governo da Guatemala de forma a conseguir financiamento junto às autoridades americanas. Recentemente, inclusive, aprovou-se legislação visando à proteção ambiental nas áreas urbanas da Guatemala.

Desde o começo do programa foi considerada uma redução de 10 por cento na gasolina importada, o que representa, também, um importante esforço no campo ambiental.

O mercado guatemalteco consome dois tipos de gasolina, a comum -com 87 de octanagem- e a premium -com 95 de octanagem-; a ambas é adicionado chumbo, para se atingir o nível correto de octanagem.

O governo participa apenas com a regulamentação do mercado de combustíveis líquidos no país, porque o refino, a distribuição e a comercialização são realizados por 4 companhias multinacionais: a Texaco, a Shell, a Chevron e a Esso.

Alvarez (1991) destaca, também, alguns outros aspectos que ele considera relevantes em relação ao programa guatemalteco: "Muitos dos postos de distribuição de combustíveis não têm mais espaço para adicionar um tanque extra para a venda da mistura de álcool e gasolina, então, eles tem que optar por vender apenas os combustíveis tradicionais.

Outros, se eles podem, vendem três combustíveis ao invés de dois: a gasolina comum, a mistura e a gasolina premium".

O preço da mistura álcool-gasolina não pode ser maior do que o preço da gasolina premium, pois o conceito geral é o de se vender a mistura a um preço menor que a gasolina premium. Contudo, o lucro dos postos de gasolina provém de uma porcentagem da venda total de combustíveis efetuada pelos mesmos. Dessa forma, haverá uma diminuição no lucro total auferido pelos postos de distribuição se eles passarem a vender a mistura álcool-gasolina, ao invés da gasolina premium. Sob este ponto de vista, faz sentido algumas mudanças na "lei dos hidrocarbonos", que se refere, basicamente, à regulamentação oficial da estrutura de preços dos combustíveis no país (ALVAREZ, 1991).

Na Guatemala, os preços de venda dos combustíveis ao consumidor são fixados pelo governo e não refletem diretamente a variação do preço do petróleo no mercado internacional, contudo, o custo do álcool é baseado no preço do açúcar, que varia a cada ano de acordo com o mercado internacional. É necessário estabelecer um mecanismo especial para controlar as atividades relacionadas à produção de açúcar, especialmente no setor agrícola.

3.3.2.3 Características da destilaria

Segundo Alvarez (1991), até 1990 existia apenas uma destilaria produzindo álcool anidro na Guatemala, a destilaria de Palo Gordo.

A destilaria de Palo Gordo opera quase 130 dias por ano, no mesmo tempo no qual as usinas produtoras de açúcar estão em operação. Ela produz etanol a partir de dois tipos de matéria-prima, as quais são supridas por várias usinas: melaço, com uma porcentagem de sólidos fermentáveis da ordem de 55 por cento, e melaço concentrado¹¹, com uma porcentagem de sólidos fermentáveis da ordem de 65 por cento (ALVAREZ, 1991).

A capacidade de produção da destilaria é de aproximadamente 120.000 litros dia, e estaria de acordo com a disponibilidade de matéria-prima segundo Alvarez (1991).

¹¹Conforme seja organizado o sistema de produção de açúcar nas usinas guatemaltecas, e de como as matérias-primas, produtos e subprodutos de uma ou mais etapas desse processo sejam misturados para se formar o que é genericamente conhecido como melaço, ao se enviar o melaço para a produção de etanol, ter-se-á matérias primas de diferentes qualidades. Contudo, independentemente do nome que se dê a este melaço, a quantidade de sólidos fermentáveis totais presentes nesta matéria-prima ainda é a melhor medida de qual deverá ser a produtividade da mesma, por exemplo, em termos de litros de álcool produzido por tonelada de matéria prima que chega a uma certa destilaria.

Para a produção de 10 milhões de galões de etanol seriam necessários 66.700 toneladas de sólidos fermentáveis, o que equivale a 121.000 toneladas de melaço ou 102.000 toneladas de melaço concentrado(ALVAREZ, 1991).

A produção de melaço na Guatemala é da ordem de 30 milhões de galões por ano, o que equivale à cerca de 164.000 toneladas. Porém, parte desse melaço é utilizado na alimentação animal e uma outra parte é exportada(ALVAREZ, 1991).

3.3.2.4 Aspectos práticos do programa

O Programa Nacional do Álcool na Guatemala parece ter tido a sua implantação justificada junto à opinião pública e às câmaras públicas competentes através de uma argumentação política de carácter ambientalista. Argumentação esta que, provavelmente, camuflava interesses de alguns grupos econômicos envolvidos naquele projeto, o qual não alcançou o sucesso que dele se esperava, pois, assim afirma Alvarez (1991): "A produção no ano de 1988 era de cerca de um milhão de galões de álcool, quando deveria ter sido de 3,8 milhões, conforme o que fora planejado".

Ao final de 1986 foi promulgada na Guatemala a "Lei Ambiental", o que conduziu a algumas modificações na política sobre o álcool.

Normalmente a Guatemala obtém gasolina com uma octanagem igual a 82, o que requer chumbo para elevá-la para uma octanagem igual a 87, no caso da gasolina comum, e 95, em se tratando da gasolina premium(Alvarez, 1991).

O álcool também pode ser utilizado para aumentar-se a octanagem. Com uma mistura de 7 por cento de álcool obtém-se uma gasolina comum com 87 de octanagem, com a vantagem de se eliminar o uso de chumbo. No caso da gasolina premium é necessário uma mistura de 10 por cento para elevar-se a octanagem para 92(ALVAREZ, 1991).

Segundo Alvarez (1991) a Guatemala em 1988 pretendia processar uma gasolina comum com octanagem igual a 87, através da mistura com álcool produzido no país, enquanto que a gasolina premium seria importada dos Estados Unidos já com o chumbo substituído na mesma por álcool; neste último caso a mistura seria feita no mercado americano.

Este plano é factível e possui uma série de vantagens, entre as quais: o manejo nos postos de distribuição com a existência de apenas dois combustíveis ao invés de três -como

ocorre atualmente-; a descontinuidade do uso de chumbo adicionado à gasolina, em conformidade com a legislação ambiental aprovada; e, finalmente, poderia vir a ser utilizada a capacidade instalada de produção de álcool na destilaria de Palo Gordo(ALVAREZ, 1991).

3.3.2.5 Perspectivas ao programa de álcool carburante na Guatemala

Até o final do século a Guatemala tinha a intenção de comercializar apenas aqueles dois tipos de combustíveis: a gasolina premium e a comum, ambas sem chumbo. Conforme a evolução do mercado a demanda por álcool tenderá a aumentar ano após ano, assim se faria necessária a entrada em operação das novas destilarias a serem implantadas.

Nos planos do Ministério das Minas e Energia da Guatemala, o aumento na produção guatemalteca de álcool, à medida em que novas destilarias fossem entrando em operação, seria direcionado para um aumento gradual da porcentagem de álcool na gasolina comum consumida naquele país, enquanto que o restante esperava-se que fosse exportado.

A segunda destilaria da Guatemala estava planejada para entrar em operação em 1991, mas operando com cerca de 50 por cento da sua capacidade instalada de produção. Em 1995 uma outra destilaria, a de número três, poderia entrar em funcionamento. Nesta hipótese, ela deveria estar operando à plena capacidade no ano de 1997. Esperava-se que a porcentagem de álcool na mistura fosse elevada de 12 por cento em 1995 até cerca de 15 por cento em 1997(ALVAREZ, 1991).

O aumento da participação de álcool na mistura de 7 para 15 por cento até o ano 2000 era a meta inicial. Contudo, deve ser observado que este é o percentual de álcool que estaria presente na gasolina comum, a qual, em 1990, representava um consumo da ordem de 60 por cento do total das gasolinas naquele país. Desta forma, a produção interna de combustível, no caso o álcool, estaria perto de 9 por cento deste total a ser consumido no país, segundo Alvarez (1991).

Ao longo da década de noventa, esperava-se que a produção de álcool fosse maior que a demanda, o que levaria à exportação desse álcool. Além disso, fora possível se considerar a mistura de álcool à gasolina tipo premium, sem chumbo, sendo que, neste caso, a sua octanagem seria elevada de 92 para 95. Uma outra opção seria considerar-se um maior percentual de álcool aplicado à gasolina tipo comum, sendo que, neste caso, a sua octanagem

seria elevada para 92. Tecnicamente esta idéia é interessante, contudo, no momento, a intenção é favorecer exportações, de acordo com a Lei Nacional que foi promulgada para promover a exportação de produtos não tradicionais (ALVAREZ, 1991).

A participação do etanol pode ser maior caso o consumo de gasolina comum for maior que o previsto. Obviamente se um produtor conseguir encontrar oportunidades para vender etanol no mercado internacional, e for capaz de produzi-lo, ele poderá fazê-lo. Deve ser observado, contudo, que, de acordo com os planos estabelecidos, não haverá oportunidade para exportação de etanol nos dois primeiros anos, ou seja, até que mais de uma destilaria esteja instalada. Até lá, o álcool produzido será direcionado apenas para o atendimento do mercado interno.

Há, também, interessados que desejam iniciar a produção de álcool no país, mas que não possuem suas próprias usinas, mas sim, fazendas. Isto significa que existe a possibilidade de instalação de destilarias autônomas no país.

A avaliação feita por Alvarez (1991), ligado ao Ministério das Minas e Energia da Guatemala, discorre longamente sobre a questão da substituição do chumbo pelo álcool na gasolina, mas não se refere a nenhum tipo de análise econômica.

O trabalho de Alvarez (1991) parece estar preocupado com os aspectos institucionais e legais do Programa Nacional do Álcool na Guatemala. Assim, embora ele comente detalhadamente sobre os futuros planos de expansão deste programa ele não toca em momento algum sobre algum custo envolvido.

Talvez fosse cedo para desejar-se uma avaliação mais profunda do Programa Nacional do Álcool na Guatemala, especialmente a nível econômico, uma vez que a única destilaria à época instalada na Guatemala estava, em 1988, operando com um nível de produção bem abaixo de sua capacidade instalada.

Por outro lado, se a Lei sobre o Meio Ambiente, que foi promulgada, e cujo objetivo principal parece ser o estabelecimento, "por decreto", de um aumento sensível na demanda pelo álcool, for capaz de lograr seu objetivo, é extremamente temeroso para a Guatemala embarcar numa política energética que vise a expansão de seu programa de álcool carburante sem saber a quem ele já está beneficiando e em que medida.

Neste sentido, o melhor procedimento que a Guatemala poderia adotar no momento em que a usina de Palo Gordo viesse a sofrer um aumento sensível na demanda, fosse verificar se os custos da produção do álcool lá, justificam ou não a expansão do programa do álcool. Tendo em vista outras alternativas energéticas e modelos de desenvolvimento.

3.3.3 A Produção de Álcool Carburante na Argentina

Na Argentina, o Projeto Alconafta, nome com o qual se identifica o programa de álcool combustível, nasceu como uma iniciativa de uma província produtora de açúcar. A antiga idéia de se utilizar álcool como combustível começou a tomar impulso na Argentina a partir do ano de 1978, como consequência da ação que foi iniciada pelo governo da província de Tucumán, convencido da validade desta alternativa como uma forma de superar simultaneamente o déficit energético do país e a aguda crise açucareira. Esta província é a que produz a maior quantidade de cana-de-açúcar no país, sendo responsável por aproximadamente 60 por cento do açúcar produzido (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Ao final de 1979, apresenta-se um informe com os resultados obtidos em Tucumán em estudos realizados conjuntamente por representantes dos setores privado e público. Com base nestes resultados é proposta a comercialização generalizada de uma mistura álcool/gasolina na região noroeste da Argentina. Em 15 de março de 1981 se inicia a comercialização de uma mistura de álcool/gasolina no âmbito da província de Tucumán, coroando, assim, a ação combinada e suportada por instituições, setores da produção e o governo da província (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Por outro lado, a indústria açucareira argentina, distribuída em cinco das províncias que compõem a região norte do país, atravessava um prolongado período de crise motivado pelo estancamento do consumo interno de açúcar, bem como pelos baixos preços internacionais do produto. Esta situação veio a deprimir ainda mais uma atividade que, desde 20 anos atrás, não mostrava sinais de recuperação da crise que sobre ela se abatia. Neste período deixaram de operar 12 dos 37 engenhos existentes no país, com os consequentes problemas sócio-econômicos para a região. Hoje em dia os engenhos operam com uma baixa utilização de sua capacidade de moagem e os canaviais se encontram sub-explorados, porque existe uma boa porcentagem da infra-estrutura agrícola, do setor de transportes e da capacidade industrial que permanecem ociosas.

Na época, sem a necessidade de inversões em moendas e operações conexas, até a etapa de obtenção do mosto, a Argentina possui uma capacidade ociosa que permitiria processar 7.676.661 toneladas de cana, de forma a produzir 498.982.970 litros de álcool de

96° G.L. por ano. Caso fossem realizadas algumas melhorias nos engenhos, fundamentalmente nas moendas, estes valores poderiam ser incrementados (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Com relação às etapas de fermentação e destilação, poderiam ser produzidos 243.363.010 litros de álcool de 96° G.L. por ano para uso como combustível com os equipamentos existentes, aumentando-se a atual produção de álcool a partir do melaço (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984). A maioria dos parágrafos deste tópico também estão baseados nestes dois autores. Como ocorre com estes que se seguem.

A capacidade de desidratação¹² que a Argentina possuía em 1984 era de quase 305.000 litros por dia, o que representa 91.500.000 litros por ano, sendo que se conta com experiência em fabricação e adaptação de equipamentos para este tipo de atividade. Tanto as destilarias como as colunas desidratadoras foram projetadas e construídas no país, sendo que a indústria metalúrgica nacional está em condições de fabricar destilarias autônomas com um grau de nacionalização de até 90 por cento (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

É possível se concluir que a Argentina conta com os elementos tecnológicos apropriados para projetar, construir e operar plantas de fabricação de álcool, sendo as centrífugas separadoras de levedura o único tipo de equipamento que não se fabricava à época na Argentina, elas deviam ser, desta forma, importadas.

A condução e operação das destilarias em funcionamento se faz sem grandes inconvenientes e com bons resultados. Apesar delas fabricarem, fundamentalmente, álcoois para uso industrial, também há destilarias que desenvolveram técnicas para elaborar álcoois finos de grande pureza, para mercados tão exigentes quanto os de bebidas alcoólicas, aqueles de perfumaria e na produção de medicamentos.

Analisando-se as inversões de capital necessárias para levar adiante o programa com a moagem de cana diretamente voltada para a produção de álcool carburante, observou-se que para produzir a cada ano 400 milhões de litros de álcool carburante seria necessária a inversão de somente US\$ 34.700.000, em adequação às destilarias e depósitos de álcool. Para esta produção, as inversões no setor agrícola seriam insignificantes desde que há equipamentos e máquinas agrícolas, bem como de transportes, subutilizados.

Para aumentar a produção de álcool carburante em mais 600 milhões de litros estima-se que seria necessária a construção de destilarias autônomas com uma inversão total igual a US\$

¹²Operação que é responsável pela transformação de álcool hidratado em álcool anidro pela elevação do seu teor alcoólico. Isto permitirá a formação de uma mistura praticamente sem separação de fases entre a gasolina e o álcool anidro.

240.000.000, aplicando-se, além deste total, mais US\$ 107.000.000 no setor agrícola e de transporte(HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

A Argentina possui reservas consideráveis de petróleo. As suas reservas de gás natural são maiores, mas se encontram, como no caso do petróleo, situadas em zonas afastadas dos grandes centros urbanos e industriais, sendo que parte de suas reservas atuais se localizam parcialmente na plataforma submarina, e para o seu aproveitamento seriam necessárias importantes e custosas obras de infraestrutura.

As reservas de petróleo na Argentina seriam suficientes para um período de consumo de cerca de 10 a 14 anos, considerando-se que houvesse uma diminuição na produção média dos poços em exploração nos anos oitenta. A avaliação à cerca do gás natural indica que ele estaria em disponibilidade para mais de 60 anos, considerando-se os valores relativos à década passada. Porém, considerando-se os programas em vigência de substituição de combustíveis líquidos pesados por gás natural, é de se crer que mesmo o gás natural podendo estar disponível por um tempo maior que o petróleo, uma reativação industrial incrementaria o consumo deste gás, com efeitos sobre a duração dessas reservas(HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Apesar dos esforços e avanços logrados na exploração de petróleo, o país tem importado entre 7 e 10 por cento do petróleo e seus derivados, fundamentalmente para abastecer o setor de transportes, com um deslocamento de divisas que seria possível evitar(HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Por outro lado, o fato de se utilizar a mistura de álcool/gasolina, com cerca de 15 por cento de álcool anidro, o qual é produzido na região onde se comercializa a mistura álcool/gasolina, tem como consequência evitar a saída dessa região de 15 por cento do valor das gasolinas contendo álcool que são ali consumidas, com as consequências naturais sobre a economia regional.

Nos anos do início da década de oitenta, as províncias envolvidas no programa consumiam aproximadamente 285 milhões de litros por ano da mistura álcool/gasolina. Isto quer dizer que a substituição de naftas por álcool era de quase 42,7 milhões de litros por ano. Sendo o consumo nacional anual total de naftas próximo a 7.135 milhões de litros, se observa que o álcool estava substituindo cerca de 0,6 por cento do consumo total de gasolina.

Todos os veículos à gasolina que se fabricavam no país eram preparados para operarem com combustível de 83 ou 93 de octanagem, assim como vinham preparados para serem acionados indistintamente apenas com gasolina ou com a mistura álcool/gasolina, o que

significava que as peças do circuito de combustível com possibilidades de serem atacadas pelo álcool eram substituídas por outras que não apresentavam este problema.

O Programa Alconafta não teve na Argentina nenhum tipo de financiamento especial. A construção do primeiro equipamento de desidratação ocorreu com o apoio do setor oficial da província de Tucumán, mediante uma linha de crédito a taxas reduzidas e em condições especiais. Esta linha continuava vigente para promover a instalação de novas colunas desidratadoras de álcool no território. Para o resto das atividades produtivas vinculadas ao Programa se contava com linhas de créditos convencionais de bancos oficiais e privados (HEMSY & SCANDALIARIS, 1984).

Na Argentina, como no Brasil, produz-se álcool combustível a partir da cana-de-açúcar, primordialmente do excedente desta matéria-prima. Mas há diferenças fundamentais entre estes dois programas. Na Argentina o cultivo da cana-de-açúcar se restringe à região mais ao norte do país, e a maior parte do consumo de etanol como combustível se dá nesta região; o álcool é misturado à gasolina na porcentagem de 15 por cento; e, além disso, o programa do álcool na Argentina começou apenas ao final da década de setenta, não ocorrendo pesquisas em matérias-primas alternativas para a produção de etanol intensivamente, como no Brasil (THOMAS, 1992).

O governo estabelece uma cota fixa para a produção de açúcar para os donos das usinas e eles devem converter a cana-de-açúcar excedente em etanol. Mas a produção de álcool não é bem remunerada, a produção excedente de 1988 foi vendida a um preço entre um terço e metade do preço do açúcar (THOMAS, 1992).

Houve um relativo sucesso técnico no programa de álcool na Argentina, porém, alguns problemas permanecem e têm se mostrado de difícil solução. Um longo período de seca durante a última estação de crescimento da plantação levou a uma ameaça de escassez de álcool, o que poderia ter como consequência até uma suspensão temporária do programa e a reversão para o uso de 100 por cento de gasolina. O recente aumento no preço do açúcar no mercado internacional poderá resultar, também, em instabilidade no mercado doméstico de produção de álcool. Além disso, aumentos no preço do açúcar e preços baixos e estáveis do petróleo deverão conduzir a uma tendência contrária a estratégia governamental que, neste caso, consiste em economizar divisas através da redução da importação de petróleo com a sua substituição pelo álcool combustível (THOMAS, 1992).

3.3.4 A Produção do Álcool Carburante no Paraguai

Segundo Doria (1984), o Paraguai é importador do petróleo e seus derivados, e apresenta crescimento no consumo de hidrocarbonetos. Assim, precisa desenvolver outras alternativas energéticas. O uso de álcool como combustível automotor se apresenta como uma das alternativas mais promissoras. Mais de 80 por cento do consumo de derivados de petróleo é representado pelas naftas e pelo óleo diesel.

No Paraguai o consumo de naftas no ano de 1982 foi igual a três vezes o valor deste tipo de consumo em 1960, e o óleo diesel apresentou um consumo 13,6 vezes maior. A incidência do brusco aumento dos preços do petróleo e dos seus derivados na economia paraguaia se refletiu nas seguintes cifras: os gastos com a importação de petróleo cresceram de 5,9 milhões de dólares em 1972 para mais de 41,9 milhões de dólares em 1974, chegando em 1982 a mais de 160 milhões de dólares. Em outubro de 1984 já representava um total de 170 milhões de dólares.(DORIA, 1984)

Com os problemas surgidos e mencionados anteriormente, o governo nacional determinou, no ano de 1976, a implantação de uma planta destiladora de álcool que foi instalada e posta em funcionamento no ano de 1980. Esta planta destiladora de "etanol absoluto"¹³, com capacidade de 120.000 mil litros/dia, foi autorizada a funcionar dentro do ente autárquico "APAL", que até o ano de 1982 monopolizou a comercialização de todos os álcoois produzidos no país. Desde o ano de 1982, pelo Decreto-Lei nº 8, os álcoois carburantes foram liberados, na sua produção e comercialização, da esfera da "APAL"(DORIA, 1984).

Embora seja verdade que a meta proposta ao primeiro ano de execução do programa do álcool tenha sido cumprida, com a substituição no ano de 1982 de 2 por cento do consumo nacional de naftas, e no ano de 1983 o consumo de álcool anidro tenha aumentado até atingir cerca de 5 por cento da substituição no consumo de naftas. Doria (1984), observa que o aumento do consumo de álcool anidro estagnou-se por 6 meses, graças a diferentes problemas de ordem econômica. A meta proposta para o ano de 1984, de substituir cerca de 10 por cento do consumo de naftas, não seria alcançada, porque ela poderia conduzir a problemas sérios na produção de álcool hidratado.

¹³O mesmo que álcool anidro para fins automotivos.

Esperava-se que a produção de álcool anidro chegasse a atingir um nível de mistura igual a 20 por cento, em volume, na gasolina. O que significaria o fornecimento de uma quantidade aproximada de álcool anidro igual a 22 milhões de litros por ano. Contudo, o país conta com apenas uma destilaria autônoma que produz álcool anidro e que deveria, além disso, cobrir com sua produção um déficit que existe no fornecimento de álcool hidratado. Mas esta destilaria não consegue atender todas as necessidades do país(DORIA, 1984).

No que diz respeito ao álcool hidratado, de 94 a 96°G.L., que é a faixa estipulada nas normas técnicas do país, se fixaram metas de substituição de gasolina por este combustível de uma forma gradual. Quando o programa começou, em 1981, esperou-se uma substituição de 2 por cento no consumo de gasolina, o que equivalia, naquele ano, a 2,5 milhões de litros de álcool hidratado. Para o ano de 1984 o consumo previsto deveria atender um parque automotor movido a álcool hidratado com quase 2.000 veículos(DORIA, 1984).

A implantação do programa e da destilaria da "APAL" fez com que se cultivasse mais cana-de-açúcar, especialmente nas colônias existentes nas cercanias da planta, com o que se conseguiu uma maior ocupação de mão de obra rural e uma maior diversificação de culturas na região. Esta destilaria contava com 3.000 fornecedores, pequenos agricultores, que introduziram a cana-de-açúcar para diversificar os seus cultivos(DORIA, 1984).

A venda do álcool carburante hidratado se realiza diretamente entre o produtor e as empresas distribuidoras autorizadas, que, em 1984, eram quatro. Entre elas pode-se mencionar a "ESSO" e a "SHELL", empresas internacionais muito conhecidas. A comercialização do álcool anidro é feita diretamente entre o produtor e a empresa mista "PETROPAR", que possui a única refinaria de petróleo no país.

Indubitavelmente o melhor incentivo à produção e utilização de álcool é a fixação de preços atrativos ao produtor agrícola, à indústria e ao consumidor. Em 1984 isto foi possível de se obter, depois de vastos estudos que comparavam o preço do álcool com aquele da matéria-prima utilizada. Também, em relação aos preços dos tipos de gasolina no país(DORIA, 1984).

É um incentivo, também, o fato do governo ter concedido um imposto de importação igual a 30 por cento do valor FOB de um veículo movido a álcool para um imposto igual a 100 e 120 por cento do valor FOB de veículos movidos a gasolina e a óleo diesel.

Dória (1984) também afirmava que os maiores incentivos concedidos ao álcool carburante paraguaio eram: o preço, a livre produção, a livre comercialização, o controle de

qualidade e a segurança de se contar com álcool suficiente, bem como devido aos incentivos fiscais existentes na importação de veículos.

3.3.5 Produzindo Álcool Carburante em El Salvador

A instalação da primeira planta para a produção de álcool carburante em El Salvador, com uma capacidade de produção de 60.000 litros por dia, durante 300 dias por ano, constitui a materialização de uma das idéias programadas no Plano Trienal 1981-1983 do governo salvadorenho, no capítulo: Plano de Inversão no Setor de Energia(POSADA, 1984).

O objetivo básico que orientou a realização deste estudo técnico foi, por um lado, o de se iniciar o uso de fontes locais de energia, como o uso dos excedentes de melão de cana-de-açúcar utilizando tecnologia imediatamente disponível, e, por outro lado, a procura de efeitos econômicos favoráveis, particularmente no que se refere à redução do uso de petróleo, cujos altos custos exercem uma forte pressão sobre a balança de pagamentos dos países não produtores deste energético(POSADA, 1984).

Conforme Posada (1984) o montante previsto para a execução a contento do projeto foi US\$ 12.552.710. Deste total, o Fundo de Investimentos da Venezuela participa com um financiamento de US\$ 11.905.000. O estudo de viabilidade técnico-econômica estima o funcionamento da planta de 60.000 litros/dia com o aporte de todo o melão que na época era exportado. Entidades governamentais, contudo, estão interferindo junto ao tradicional mercado consumidor de melão. Para a operação da planta de álcool anidro destinou-se em 1984 cerca de 4.000.000 galões de melão, o que permitiria que se trabalhasse durante todo o período de operação com cerca de 50 por cento da capacidade de produção da planta. Considera-se, também, que os problemas com escassez de melão foram superestimados e que se poderá dispor de uma maior quantidade de melão para se operar.

A planta foi entregue pela empresa responsável pela sua construção, a companhia Comercializadora de Bienes y Tecnología S.A.-C.B.T.,S.A., de Caracas, Venezuela, dentro do prazo previsto, sendo que a data final de entrega estava marcada para 27 de março de 1984. Os testes de comissionamento foram completados no dia 30 de março de 1984, quando se fez a planta produzir álcool a 99,8° G.L. a um ritmo de 2.500 litros por hora, conforme o

contrato. Logo após começaram os trâmites para o início da produção ininterrupta de álcool(POSADA, 1984).

3.3.6 O Álcool Carburante na Costa Rica

Durante o período de 1977 a 1981, ainda que de uma maneira intermitente, segundo a flutuação dos preços internacionais do açúcar, o governo da Costa Rica considerou o álcool anidro da cana-de-açúcar como uma alternativa a curto prazo para o consumo de gasolina(QUEZADA, 1984). Neste autor também se baseiam, quase que exclusivamente, os demais parágrafos deste item.

A produção de álcool em escala comercial na Costa Rica estava reduzida à produção de etanol a partir de melão por parte de duas empresas estatais: a Fábrica Nacional de Licores-FANAL e a Central Azucarera del Tempisque-CATSA. A FANAL é a instituição detentora do monopólio estatal de licores, o qual foi inaugurado em 1851. Sua atividade tem consistido, tradicionalmente, na produção de álcool para os mercados nacionais de licores, para usos hospitalares e industriais, por exemplo, como solvente. Em 1981 se instala uma nova destilaria com a finalidade de satisfazer os mercados tradicionais e começar uma importante exportação de licores.

A destilaria da central açucareira CATSA foi instalada em 1979 com a finalidade de produzir álcool anidro para uso exclusivo como carburante, numa mescla com a gasolina que conteria 20 por cento de álcool. A destilaria, então, consta de dois módulos com capacidade unitária de produção igual a 120.000 litros de álcool por dia, sendo a tecnologia brasileira e do tipo convencional. Os dois módulos da destilaria estão anexos a esta empresa açucareira.

Em abril de 1981 se inicia um fornecimento restrito sobre a mistura álcool/gasolina para o público, abastecendo 33 postos de serviço na área metropolitana.

No início, ainda que pequeno, um diferencial de preço em favor da mistura foi, juntamente com a propaganda sobre a "nova energia nacional", um estímulo para os consumidores. Contudo, a cadeia produtora e distribuidora da mistura álcool/gasolina não conseguiu desenvolver-se. De acordo com os níveis de consumo de gasolina, no mínimo a capacidade da empresa CATSA teria permitido, teoricamente, atender até 70 por cento do mercado nacional de combustível para automóveis à gasolina.

A mistura álcool/gasolina apareceu em 1981 frente a gasolina carburante assim como a "nova energia nacional", com grandes vantagens individuais em sua utilização. Contudo, seu custo mínimo de produção era quase 20 por cento superior à alternativa de importação de gasolina, e a sua distribuição e consumo iriam requerer equipamentos em um estado adequado, que eram escassos no país(QUEZADA, 1984).

Por outro lado, a produção da destilaria CATSA se manteve em um nível inicial de quase 1,94 milhões de litros por ano, ou seja, aproximadamente 8 por cento de sua capacidade anual. A empresa, também, nunca utilizou caldo de cana para a produção de álcool, apenas melaço. Em novembro de 1982, a empresa CATSA anunciou sua decisão de não mais produzir álcool a curto prazo.

Basicamente a empresa enfrentou problemas, não resolvidos, de criação de uma oferta e de uma demanda que fossem significativas. Tanto a cana-de-açúcar como o melaço nacional apresentam usos alternativos tradicionais, solidamente estabelecidos: a produção de açúcar e a alimentação animal, respectivamente(QUEZADA, 1984).

No curto prazo, a produção de álcool anidro foi afetada, entre outros fatores, por escassez de matéria-prima para a sua fabricação. A partir de 1973, devido aos baixos preços do açúcar no mercado internacional, o crescimento da produção açucareira da Costa Rica começa a experimentar uma desaceleração até que, nas últimas safras, esta produção se manteve constante. Ao mesmo tempo, a demanda interna apresentava uma situação de crescimento, paralelamente à exportação de açúcar sob cotas preferenciais ao mercado americano. A empresa CATSA, como complexo açucareiro, nunca contou com cana-de-açúcar suficiente para a operação do engenho com mais de 64 por cento de sua capacidade.

Embora a relação de preços históricos entre a gasolina e o açúcar para exportação houvesse indicado custos de oportunidade interessantes para o direcionamento da cana-de-açúcar para a produção de álcool anidro para misturar à gasolina na segunda metade da década de setenta e início da década de oitenta, a queda paulatina dos preços do petróleo e o aumento do preço do açúcar ao longo da década de oitenta reverteu a tendência anterior. Na Costa Rica houve a agravante de que, segundo Quezada (1984), a transferência pelos EUA da cota preferencial que anteriormente pertencia à Nicarágua para a Costa Rica, levou ao aumento do preço e ao deslocamento da cana-de-açúcar que poderia ser moída para a produção de etanol para o atendimento desta cota preferencial.

Por outro lado, segundo Quezada (1984), a utilização de melaço geraria problemas análogos, pois uma vez não havendo produção excedente no país, seria necessário efetuar-se a sua importação a altos custos e sob flutuações de preço¹⁴.

Desta forma, um incremento na produção de álcool de cana-de-açúcar na Costa Rica necessita de plantações específicas desligadas da exportação, bem como de um incremento equivalente na produção açucareira que gere excedentes em níveis que possam atender às necessidades tradicionais.

O custo do álcool anidro na porta da fábrica, operando à plena capacidade, foi estimado em 1981 como sendo igual a US\$ 0,50 por litro, contra um preço CIF da gasolina, no mesmo período, igual a US\$ 0,26 por litro. Dentro deste contexto, para incentivar-se a utilização da mistura etanol/gasolina era preciso subsidiar o álcool carburante, o que não foi adotado.

Na Costa Rica não se tomaram, na prática, medidas contundentes a favor da viabilização da mistura álcool/gasolina a este nível. Houve problemas com o mecanismo de fixação do preço de compra da CATSA, desfavorecendo a empresa. Se manteve a mesma margem de lucro para o distribuidor. O preço relativo de venda ao consumidor -preço da gasolina/preço da mistura álcool-gasolina- evoluiu da seguinte maneira: 1981: 97,4 por cento; 1982: 93 por cento; e 1983: 92 por cento.

A experiência governamental com álcool hidratado, por outro lado, se reduziu a um programa institucional para a capacitação de técnicos na conversão de motores. Esta conversão foi muito limitada -aproximadamente 100 veículos convertidos- devido à falta de fundos para a conversão dos motores; ao alto custo do novo combustível; ao menor rendimento em km/litro do álcool com relação à gasolina; e à falta de equipamento especializado para conduzir um controle de qualidade destas conversões(QUEZADA, 1984).

3.3.7 Estudos Sobre a Produção de Álcool Carburante em Poucos Outros Países da América Latina

3.3.7.1 A hipótese de produção na Bolívia

¹⁴De acordo com informações do Diretor da FANAL, o preço CIF do melaço proveniente da América Central estava ao redor de US\$ 50,00/tonelada de melaço, apresentando amplas flutuações momentâneas durante as altas, como ocorreu em 1982, quando o preço chegou a cerca de US\$ 100,00/tonelada de melaço(QUEZADA, 1984).

A capacidade de produção de açúcar nos engenhos açucareiros bolivianos é menor que 500.000 toneladas por ano. A capacidade instalada das destilarias do país permite uma produção potencial máxima de menos de 90 milhões de litros de álcool etílico hidratado por ano agrícola, considerando-se 320 dias efetivos de produção. A produção de álcool anidro, para a sua mistura com carburantes derivados do petróleo, requer uma adequação técnica nas instalações atuais, mas é factível.

Segundo El-Hage et alii (1984), até então a capacidade de produção de álcool a partir do melaço, método utilizado então, permitiria obter por ano 76,16 milhões de litros de etanol, dispondo-se de matéria-prima suficiente.

A produção de álcool hidratado no país, em média, na primeira metade da década de 80, foi de quase 26,5 milhões de litros por ano. Deste total, destinou-se aproximadamente 18 milhões de litros ao ano para o mercado nacional. Isto implica que nos últimos anos têm havido um excedente anual de 8,5 milhões de litros que teriam sido exportados.

O consumo de álcool no país se encontra orientado principalmente para a indústria de bebidas alcoólicas, de perfumaria, de produtos farmacêuticos e para o consumo humano na preparação de bebidas caseiras. Desde a década de setenta se exporta a países vizinhos como o Brasil, o Peru, o Chile, a Argentina, bem como a países europeus como a França e a Inglaterra(EL-HAGE et alii, 1984).

Segundo El-Hage et alii (1984), um programa de álcool com fins carburantes, na Bolívia, poderia surgir da consideração dos seguintes fatores:

- i) Utilização racional das reservas bolivianas de hidrocarbonetos derivados do petróleo;
- ii) Utilização de um produto energético, que é obtido como matéria-prima renovável, para a substituição parcial de derivados de petróleo. Em função dos resultados obtidos, na segunda etapa, se ingressaria na produção de álcool anidro para a substituição parcial da gasolina automotora. Esta segunda etapa do programa exigirá, provavelmente, a ampliação das capacidades de produção das destilarias e a instalação de colunas desidratadoras;
- iii) Utilização dos excedentes de cana para a fabricação de álcool, eliminando-se parcialmente a nossa dependência do mercado externo de açúcar, caracterizado, à época, por preços deprimidos;

- iv) Aproveitamento integral da capacidade agrícola existente, mantendo a atual superfície plantada de cana-de-açúcar; e
- v) Utilização total das capacidades de processamento de cana-de-açúcar e de fabricação de álcool dos engenhos açucareiros, sem necessidade de ampliações imediatas.

Por outro lado, El-Hage et alii (1984) consideram indispensável a adoção das seguintes medidas para se conseguir a execução de um programa de álcool carburante na Bolívia:

- i) Reorientação da política energética vigente;
- ii) Adoção de uma nova política de produção e utilização de combustíveis derivados do petróleo;
- iii) Correção da estrutura de preços dos hidrocarbonetos derivados do petróleo;
- iv) Preços reais dos produtos agropecuários, com base em seus custos de produção, mas considerando-se a sua necessidade;
- v) Implementação de um programa de produção auto-sustentável de cana-de-açúcar;
- vi) Estabelecimento de uma política adequada de preços para a produção de álcool; e
- vii) Modificação da atual política tributária e de um regime impositivo de produção de álcool.

3.3.7.2 Uma possível produção de álcool carburante no Peru

Há neste país uma indústria açucareira assentada tradicionalmente na costa, onde a terra agricultável, escassa, normalmente irrigada e com alta produtividade, tem um custo elevado e onde o incremento da produção de alimentos tem uma alta prioridade. As possibilidades de se aumentar a área agrícola destinada à cana-de-açúcar com fins energéticos na faixa costeira tem, portanto, claras limitações(CAMPODÓNICO, 1984). É com base neste autor que se escreveu os parágrafos a seguir.

Todavia, na região da selva, na planície amazônica, há possibilidades para o desenvolvimento de vastos programas agroindustriais. Nesta região, onde existe a necessidade de atividades que propiciem o seu desenvolvimento, estarão as melhores condições para a feitura, a médio e longo prazos, de um programa que tenha como objetivo a produção de álcool carburante(CAMPODÓNICO, 1984).

Outro aspecto relevante a se destacar, para o possível estabelecimento de um programa de álcool carburante, é a distribuição geográfica do consumo de gasolina no território nacional, já que o consumo estimado das diversas gasolinas nas regiões costeira e serrana do país em 1983 foi de 11,27 milhões de barris. Na região da selva o consumo foi de quase 0,53 milhões de barris por ano, ou seja, 230.833 litros por dia. Os dados anteriores implicam em que um programa de álcool carburante levando em consideração somente a região da selva, tendo uma mistura com 80 por cento de gasolina e 20 por cento de álcool, apresenta um potencial de produção de álcool anidro da ordem de 46.000 litros por dia.

Segundo Campadónico (1984), caso houvesse uma recuperação na indústria açucareira peruana, e considerando-se a demanda por melão, que é utilizado para a produção de álcool para a indústria química, nos níveis do início da década de 80, haveria uma disponibilidade de 80.000 a 120.000 toneladas de melão produzido na região costeira que poderia ser utilizado para a produção de 61.000 a 92.000 litros diários de álcool carburante. Note-se que este é o limite máximo de produção para a zona costeira, pois não se espera uma expansão na área de cultivo da cana-de-açúcar além do previsto no "Programa de Rehabilitación de la Industria Azucarera".

Um programa de produção de álcool carburante na região da selva haveria de considerar problemas importantes, dentre eles o de transporte do combustível até os centros de consumo(CAMPODÓNICO, 1984).

3.3.7.3 Estudos sobre a produção do álcool carburante na República Dominicana

Na República Dominicana se produz açúcar há gerações. Em 1984 o setor açucareiro se compunha de 16 engenhos, dos quais 12 eram propriedade do Consejo Estatal del Azúcar, 3 do grupo Vicini e apenas 1 da companhia Gulf and Western(GÓMEZ, 1984).

Com relação à produção de álcool, existiam naquele ano, na República Dominicana, 6 destilarias. Destas, 5 se encontravam em operação, dedicadas principalmente à produção de álcool para a indústria de bebidas alcoólicas. A capacidade instalada das destilarias era de cerca de 73.000 litros por dia, mas elas operavam com cerca de 65 por cento de sua capacidade instalada. O processo mais utilizado é o de fermentação por batelada. Em uma das destilarias se utilizava um processo de fermentação contínua com a reciclagem das leveduras. Na maioria

dos casos as dornas de fermentação estavam abertas. A instalação de um sistema de destilação a pressões menores que a atmosférica, levou uma das destilarias a reduzir seus custos operacionais em mais de 35 por cento.

Um plano conduzido pelo "Secretariado Técnico de la Presidencia" contemplava originalmente a produção de álcool anidro, como um substituto de 20 por cento do consumo nacional de gasolina. Depois, a idéia foi abandonada por ser definitivamente anti-econômica, e competir com a produção de alimentos, e, por reduzir o potencial de exportação de açúcar.

Contudo, não se descartou a idéia como em um todo, e procurou-se vislumbrar a possibilidade de se instalar uma planta piloto de álcool nas imediações do engenho Ozama, que tem capacidade de produção próxima a 65.859 litros de álcool anidro carburante por dia, o equivalente a 2,5 por cento do consumo nacional de gasolina(GÓMEZ, 1984).

3.3.7.4 A solução ao etanol carburante no Panamá

Em relação ao álcool, sua tecnologia não está muito desenvolvida no Panamá. Existem 6 destilarias com uma capacidade real de cerca de 55.000 litros por dia, que têm uma capacidade instalada de quase 76.000 litros por dia. Em 1984 quase 75 por cento da produção daquele país se destinava à fabricação de bebidas alcoólicas e o restante destinava-se a fins industriais. Estas destilarias não poderiam ser adaptadas para a produção de álcool anidro, a menos que se fizessem alterações substanciais nas mesmas(REYNA & ARMUELLES, 1984).

Em síntese, não existia no Panamá nem tecnologia nem história de produção de álcool anidro e, definitivamente, antes de se analisar os custos reais de produção de álcool anidro seria difícil se elaborar um plano de incentivos econômicos. É importante um exercício de "marketing" apropriado, uma vez que se deseje instaurar um plano nacional de uso de álcool.

Seria importante, também, buscar-se uma forma de isenção fiscal para estes empreendedores. A instauração deste programa de álcool carburante levaria à utilização de capital privado, nacional ou não, uma vez que será pouco provável a obtenção do aval do estado(REYNA & ARMUELLES, 1984).

3.3.8 Conclusões à Cerca da Produção de Etanol na América Latina e Caribe

Os programas para adição de álcool, produzido indigenamente, à gasolina, podem estar bem mais difundidos do que se tem notícia facilmente através da literatura científica, o que pode ser inferido através da verificação das exportações de destilarias tipo "turn-key" da maior produtora de destilarias do Brasil, a Codistil, que afirma: "Quase 70 por cento da produção brasileira de álcool é gerada através de equipamentos Codistil. Também para o mercado externo a companhia tem oferecido diversos projetos, colaborando inclusive com governos estrangeiros na busca das melhores soluções para os problemas de cada país, sendo que o Haiti, a Guatemala, a Costa Rica, a Venezuela, o Equador, o Peru, a Bolívia, o Paraguai, a Argentina e o Paquistão são alguns dos países que operam com tecnologia Codistil. O principal produto deste segmento é a linha de destilarias, fabricadas em regime chave-em-mãos ou não, em que estão algumas das principais inovações tecnológicas da empresa"(CODISTIL, 1988a).

A tabela 3.4, indicada a seguir, nos mostra as exportações de destilarias da Codistil para alguns países, notadamente da América Latina, desde o início do PRO-ÁLCOOL em 1975, até 1988, quando a capacidade instalada de produção de álcool no Brasil já havia praticamente se estabilizado. Embora não fosse possível se obter informações de exatamente quantas destas destilarias estejam produzindo álcool carburante, em tempo parcial ou integral, os dados da tabela 3.4 complementam afirmações feitas acima sobre programas para a produção de álcool combustível na América Latina, no que se refere ao menos a uma certa capacidade mínima de produção instalada em cada país. As informações contidas na tabela 3.4 fornecem, também, uma indicação de países que se já não produzem álcool para uso como combustível, poderão mais facilmente passar a fazê-lo, se for o caso.

Com relação a países que na década de oitenta e noventa estavam produzindo álcool carburante, Alvarez (1991), especificamente em relação à América Central, afirma: "A produção de **álcool combustível**¹⁵ nos seis países da América Central é baseada na cana-de-açúcar, representando uma opção para o setor agro-industrial. Primeiramente porque a região importa toda a energia fóssil de que precisa; em segundo lugar porque o preço do açúcar no mercado mundial está atualmente num nível baixo; e, finalmente, porque os países da América Central têm sua economia baseada principalmente na agricultura, onde a cana-de-açúcar é um dos principais produtos não apenas como um bem de exportação mas também como uma atividade que emprega principalmente mão de obra não qualificada na zona rural".

¹⁵Grifo do autor da tese.

Tabela 3.4 Relação das destilarias exportadas pela Codistil de 1975 a 1988

Ano	Capacidade em l/24hs	País
1975	60.000	Venezuela
1977	60.000	Bolívia
1978	Primeira de 120.000	Costa Rica
1978	Segunda de 120.000	Costa Rica
1979	120.000	Paraguai
1981	20.000	Peru
1982	10.000	Peru
1984	90.000	Haiti
1985	30.000	Paquistão
1985	120.000	Guatemala
1986	30.000	Equador
1986	90.000	Argentina
1986	50.000	Bolívia
1986	12.000	Peru
1987	40.000	Paquistão
1988	60.000	Peru
1988	20.000	Peru

Fonte: (CODISTIL, 1988b)

Nota-se que, ao contrário dos países africanos, na América Latina a questão da implantação de programas de álcool carburante esteve mais ligada, no que se refere ao governo, à questão da necessidade de se tentar estabelecer um equilíbrio maior na balança comercial destes países com a redução nas importações de petróleo e o receio de altas inesperadas no preço deste energético no mercado internacional. Quanto aos usineiros, existe o interesse de se ter uma opção economicamente mais interessante para o melaço que as tradicionais, bem como para o uso da cana-de-açúcar quando o preço do açúcar está baixo no mercado internacional, quando passa a existir altas taxas de ociosidade na indústria açucareira. A manutenção ou criação de empregos no setor agrícola, como forma até de se lidar com a miséria do campesinato latino-americano, que já demonstrou várias vezes que pode se insurgir contra as elites em situações de extrema pobreza, é do interesse da sociedade como um todo.

Na América Latina a questão ambiental tem sido considerada também nos últimos anos. Na América Central, ela provavelmente está vinculada em grande medida a acontecimentos originados nos Estados Unidos. A legislação da EPA, dado o volume de álcool carburante que ela exigirá no mercado americano, provavelmente vai levar à importação deste energético por

parte dos Estados Unidos num futuro próximo. Considerando-se o tradicional relacionamento dos EUA com os países da América Central, esta zona deverá nos próximos anos exportar álcool carburante para os Estados Unidos. Se é que já não o está fazendo.

Tabela 3.5 Preços relatados açúcar e do petróleo

Ano	Preço do Petróleo, em US\$/barril (1)	Preço do Petróleo, em US\$/barril (2)	Preço do Açúcar, em US\$/tonelada (3)
79	18,4	36,4	-
80	30,7	53,7	acima de 408
81	36,6	58,0	408
82	35,3	52,6	243
83	31,9	46,2	253
84	30,9	42,8	110
85	29,7	39,7	150
86	15,1	19,9	165
87	19,4	24,6	253
88	15,9	19,4	276
89	18,1	21,0	320
90	23,2	25,6	220
91	20,4	21,5	172
92	18,8	19,3	172
93	16,3	16,3	220

Fonte: Elaboração própria, com dados obtidos no Balanço Energético Nacional (1994) e na Gazeta Mercantil (05/08/94)

- (1) Preços médios do petróleo importado pelo Brasil, em dólar corrente.
- (2) Preços médios do petróleo importado pelo Brasil, em dólar corrente convertido à dolar constante de 1993 pelo IPC dos Estados Unidos.
- (3) Cotações futuras de fim de período em Nova York em US\$/tonelada métrica, corrigidas para dólar de 1993 pelo IPC dos Estados Unidos.

Só existia uma única planta produzindo álcool carburante na Guatemala em 1988, com capacidade de 120.000 litros por dia. Da tabela 3.4 observa-se que a Codistil vendeu um planta para a Guatemala em 1985 com a capacidade de produzir 120.000 litros de álcool por dia. Assumiremos que se trata da mesma planta e que esta provavelmente começou a operar no ano de 1987. A produção de álcool carburante no Paraguai começou em 1980; na Argentina em 1981; e em El Salvador em 1984.

Assim, com relação aos programas de produção de álcool carburante na América Latina analisados neste texto, observa-se que todas as plantas consideradas começaram a operar entre o início e a segunda parte da década de oitenta. Novamente aqui ocorre a questão do "timing", ou seja, a instalação dos programas analisados ocorreu durante o período de queda brutal nos preços do açúcar no mercado internacional, enquanto o preço internacional do petróleo ainda era mantido em patamares bastante elevados, conforme pode ser observado na tabela 3.5.

Os programas para a produção de álcool carburante na América Latina têm vários traços distintos em relação aos seus congêneres africanos. Porém, definitivamente todos os programas para a produção de álcool carburante que foram estabelecidos na década de setenta até meados da década de oitenta e que não vieram a sofrer descontinuidade ou quebra de destilarias generalizada nos primeiros anos após a sua implantação, quer seja na África ou na América, foram estabelecidos em países que se encontravam sob um forte controle de um Estado autoritário.

Tentou-se implantar a produção de álcool carburante em apenas duas democracias no período compreendido entre os anos de 1975 e 1985. Na Costa Rica, um país que dissolveu o seu exército no final da década de quarenta e que vive em regime democrático desde então, houve a descontinuidade do programa de álcool carburante em 1982. Nos Estados Unidos houve uma quebra de destilarias generalizada das plantas instaladas na década de oitenta para a produção de álcool carburante principalmente a partir do milho. Das 165 plantas instaladas na década de oitenta, menos de quarenta se encontravam em operação ao final de 1990, conforme já foi visto neste texto.

CAPÍTULO 4

TECNOLOGIAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE ETANOL PARA USO COMO CARBURANTE SENDO DESENVOLVIDAS NO CENÁRIO INTERNACIONAL

4.1 Introdução

Hoje em dia a produção de etanol como combustível carburante é feita, em termos quantitativos, primeiramente a partir da cana-de-açúcar, em segundo lugar a partir do milho e em terceiro lugar a partir do açúcar de beterraba, sobra localizada de grãos, sorgo sacarino, etc.

Segundo Rosillo-Calle et alii (1992): "A capacidade de fermentação para produção de etanol aumentou oito vezes desde os anos setenta, até cerca de 20 bilhões de litros no final dos anos oitenta". Considerando-se o volume de produção de etanol no Brasil, assim como na América Latina, nos EUA e na União Européia, bem como a matéria-prima utilizada nestas regiões para a produção de etanol, esta afirmação pode ser aceita.

Por outro lado, desde que a graduação alcoólica do etanol produzido seja similar¹, independentemente da matéria-prima utilizada no processo de produção, ter-se-á o mesmo tipo de combustível, desde que pequenas impurezas sejam retiradas ao longo do processo de produção, o que é a situação normal na produção de álcool carburante.

Dessa forma, pode-se afirmar que, enquanto a tecnologia gerada com vistas à utilização de etanol em veículos automotores leves é similar, variando um pouco se utilizada a mistura álcool/gasolina ou o álcool hidratado, a tecnologia gerada com vistas ao processo de produção do etanol varia mais, em função de matérias-primas bem distintas.

O motor do carro a álcool embora seja parecido ao da gasolina, apresenta, contudo, pequenas diferenças: a sua taxa de compressão é um pouco maior para compensar a diferença

¹O álcool anidro e o álcool hidratado são as classificações usuais do etanol como carburante.

nas características de queima entre os dois combustíveis; juntas, anéis de vedação, tubos de alimentação, etc., devem ser mais resistentes ao diferente tipo de corrosão apresentado pelo álcool; as propriedades de queima do etanol à baixas temperaturas também implicam na necessidade de aditivos especiais de forma a sanar este problema. Estas são algumas das principais características distintivas entre os motores a álcool e a gasolina no momento. Isto é um fato bastante conhecido. Já a utilização de álcool para uso em motores pesados, para a movimentação de caminhões e ônibus, apesar de não ser novidade, vem tendo maior relevância em pesquisas sendo desenvolvidas em certos países, como nos Estados Unidos e na Suécia.

Retornando à produção de etanol, outra área de pesquisa que vem recebendo muita atenção nos países desenvolvidos é a de seleção de leveduras mais resistentes à infecção e mais produtivas.

Segundo Thomas (1992) o Brasil é o país que possui o programa de álcool combustível mais desenvolvido. Porém, muitos outros países produzem álcool combustível para misturar à gasolina, de forma a atender ao menos parte das necessidades de combustível para transporte. Todas estas nações teriam estabelecido estes programas como uma resposta à crise dos anos setenta. Muitos outros países também iniciaram programas de pesquisa com financiamento governamental para avaliar a viabilidade técnica e econômica da produção de combustível líquido a partir da biomassa. Aí se incluem o Canadá, a Austrália, a Nova Zelândia, o Japão, a Tailândia, as Filipinas, a Papua Nova Guiné, a Indonésia, a Malásia, a Índia, o Quênia, a África do Sul, Israel, o Egito, a Jugoslávia, a Romênia, a Costa Rica e alguns países que pertencem à União Européia. O álcool foi considerado como um combustível potencial pela maioria dos programas, em função de sua facilidade de produção e utilização. Todavia, a queda nos preços do petróleo no mercado internacional levou muitos destes projetos de pesquisa a serem cancelados ou terem seu ritmo diminuído.

De uma forma geral, pode-se afirmar que, à exceção da União Européia e dos EUA, o volume total de produção de etanol em outros países, deverá permanecer constante nos próximos anos a não ser que haja um aumento significativo no preço do petróleo.

Este capítulo da tese se dedica a descrever e elaborar algumas análises com relação à produção de etanol e suas perspectivas futuras com relação ao aspecto tecnológico. O capítulo seguinte se ocupa com a utilização do etanol.

4.2 Pesquisas em Fermentação

A utilização da bactéria *Zymomonas mobilis* tem sido largamente estudada para a fermentação de açúcar de beterraba. A este respeito Park & Baratti (1991) afirmam: "Uma mutante osmotolerante da bactéria *Zymomonas mobilis* foi utilizada para a produção de etanol a partir de melaço originário de beterraba. Experimentos com otimização média demonstraram a possibilidade de se efetuar a fermentação de etanol, a partir do melaço, sem a adição de nutrientes caros, como o fermento, que exige a sua extração".

A bactéria *Zymomonas mobilis* é um produtor eficiente de etanol. Em comparação com o uso de fermento ela mostrou um rendimento mais alto, mais de 95 por cento do rendimento teórico, e uma produtividade específica mais elevada quando a bactéria se desenvolve em um meio medianamente saturado de glicose(PARK & BARATTI, 1991).

Porém, a produção de etanol é menos eficiente quando a bactéria cresce em um meio medianamente saturado com sacarose. Em primeiro lugar a produção de etanol reduz-se para 70 a 80 por cento da eficiência teórica devido à formação de subprodutos, quais sejam, o levam e o sorbitol. Em segundo lugar, o crescimento da bactéria e a produção de etanol em substratos originários do melaço de cana é muito lento, devido ao alto índice de sais inorgânicos e outras impurezas acumuladas durante o processo de cristalização do açúcar, o que conduz a uma pressão osmótica média, de acordo com Park & Baratti (1991).

A este respeito Sahm, Bringer-Meyer & Sprenger (1991) também têm parecer semelhante. De acordo com eles a bactéria *Zymomonas mobilis* tem sido considerada recentemente como uma potente produtora de etanol, tendo uma tolerância comparada à dos fermentos. Sendo que este organismo tem várias vantagens na fermentação do etanol em comparação com os fermentos:

- i) A sua taxa de crescimento é maior que a dos fermentos;
- ii) A sua taxa de produção de etanol é bem mais rápida que a dos fermentos na conversão de glicose em etanol;
- iii) A produtividade de etanol chega a ser quase 5 por cento maior para a *Zymomonas mobilis*, em comparação com alguns fermentos.

No que se refere ao uso da *Saccharomyces cerevisiae*, o microorganismo mais utilizado no Brasil para a fermentação de mosto originário da cana-de-açúcar, Laplace et alii (1991) fazem a seguinte comparação quanto ao seu uso na fermentação de glicose: " Embora fermentos como a *Pichia stipitis* ou a *Candida shehatae* possam converter glicose em etanol, é

preferível efetuar esta conversão com microorganismos como a *Saccharomyces cerevisiae* ou a *Zymomonas mobilis*. Estes dois microorganismos, utilizados para fermentar glicose, têm melhor rendimentos que os reportados para a *Pichia stipitis* e a *Candida shehatae*".

Embora a *Zymomonas mobilis* aparentemente não possa vir a ser utilizada como substituto da *Saccharomyces cerevisiae*, no mosto originário da cana-de-açúcar, segundo Park & Baratti (1991) pesquisa-se o uso de mutantes deste microorganismo para uso neste caso específico: "Apenas recentemente fermentações com sucesso, tanto quanto ao caldo clarificado como de mosto originário de melação de cana têm sido reportadas, e nestas situações foram utilizadas as mutantes ATCC 39676 e ATCC 29191, ambas derivadas da *Zymomonas mobilis*".

Na Austrália o uso de *Zymomonas mobilis* tem sido testado de uma forma ainda experimental na produção de etanol a partir de sacarose com sucesso, de acordo com Doelle e Wilkinson (1993), através de um processo que foi denominado Sugartek.

A conversão teórica de sacarose para etanol implica em que uma tonelada de sacarose seja transformada em 538 kg de etanol mais 524 kg de CO₂. A *Zymomonas mobilis*, pelo processo Sugartek, converte caldo de cana, ou melação, com pelo menos 94 por cento da eficiência teórica. O que é possível a partir de açúcar e sal, presentes em diversas concentrações no mosto. O que levaria a uma reação em que uma tonelada de sacarose é transformada em 505,7 kg de etanol mais 492,6 kg de CO₂(DOELLE & WILKINSON, 1993).

Doelle e Wilkinson (1993) ainda afirmam que se conseguiu uma concentração final de vinho próxima a 10 por cento, com um rendimento perto de 95 por cento do teórico.

No processo Sugartek as maiores vantagens do emprego da *Zymomonas mobilis* em relação aos fermentos estariam na redução do tempo de fermentação; na maior produtividade de etanol; em um produto final mais puro; na menor formação de espuma durante a fermentação e na redução da esterilização do material a ser utilizado na formação do mosto. A questão da esterilização é bastante delicada.

A combinação destas medidas levam a uma redução de quase 20 por cento nos custos do processo de fabricação, bem como a uma redução de 20 por cento nos custos de capital das plantas desenhadas para operar com esta nova tecnologia, segundo Doelle & Wilkinson (1993).

Devido ao elevado consumo de vapor e energia, na seção de destilação de uma instalação produtora de etanol, em especial quando não se dispõe de bagaço de cana para a geração de vapor, continuam sendo pesquisados vários tipos de extração de etanol diretamente

das dornas de fermentação pelo emprego de membranas. Bandini & Gostoli (1991), por exemplo, chegaram a estudar uma nova técnica de extração de etanol em formação nas dornas de fermentação através da utilização de membranas hidrofóbicas porosas, que associadas ao uso de extractantes diminuem a volatilidade do etanol em relação à água. Chegaram a resultados animadores a nível de laboratório, declaram, mas há necessidade de mais estudos, em particular com relação à composição dos vários tipos de mostos utilizados na fermentação para a formação do etanol.

Por outro lado, com um esquema menos ousado, porém inovador, e talvez mais acurado, na extração por membrana, em relação a sistemas tradicionais, Daugulis (1991) afirma que através do emprego de vários equipamentos adicionais tais quais um balão de flash, uma centrífuga adicional, uma pequena coluna de destilação, mais bombas, etc., a fermentação extrativa é um tipo de processo em que as atividades de reação e recuperação ocorrem simultaneamente no vaso de fermentação, através do emprego de um solvente que remove seletivamente um produto. Daugulis (1991) também afirma que foi desenvolvido um processo de extração de etanol que incorpora à fermentação contínua a possibilidade do uso de substratos altamente concentrados (acima de 40 por cento), e que reduz grandemente o emprego da energia e da água.

Ainda conforme Daugulis (1991), uma análise econômica detalhada desta fermentação extrativa mostrou que era viável a redução dos custos de produção em relação a outras tecnologias.

4.3 Tecnologias na Desidratação do Álcool

O etanol forma com a água uma mistura azeotrópica a aproximadamente 95,6°GL, impedindo, assim, a remoção do restante da água num processo usual de destilação. Contudo, o álcool combustível não deveria conter mais do que 0,5 por cento em água para ser misturado diretamente à gasolina. Portanto, outros métodos devem ser utilizados para a desidratação do etanol(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

O método mais usual tem sido a destilação azeotrópica, um processo no qual um terceiro componente é misturado à mistura azeotrópica de água e etanol, visando enfraquecer

a união entre as moléculas destas duas substâncias e permitir que elas sejam separadas por destilação(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

Porém, este processo sofre um vasto número de problemas, dentre os quais a grande necessidade de energia utilizada e o fato do terceiro elemento, geralmente o benzeno, ser causador de câncer(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

Nos últimos anos outros processos têm surgido, alguns resolvem muitos dos problemas da destilação azeotrópica. Um deles usa um material inerte que absorve as moléculas da água no etanol à medida em que este passa através de peneiras moleculares. As peneiras moleculares são formadas por estruturas cristalinas que têm cavidades relativamente largas nas quais a água fica contida através do processo de adsorção(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

As primeiras peneiras moleculares em uso na desidratação do etanol foram desenhadas simplesmente para serem adaptadas a instalações previamente existentes. Elas apresentaram alguns problemas tais quais se entupirem ao final de cada ciclo, devido aos choques que rápidas mudanças de pressão causavam sobre as mesmas; ao fato de se ter prestado pouca atenção ao problema de abrasão e também à falta de previsão para uma distribuição uniforme de vapor sobre os leitos da peneira de forma a se obter um performance mais adequado(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

Segundo Sansovini, Frilli & Gimignano (1991), contudo, um sistema moderno de destilação, baseado no uso de peneiras moleculares, desde que bem projetado e operado, pode destilar e desidratar etanol com um consumo total de vapor de quase 1,8 kg de vapor por litro de álcool anidro produzido.

Ainda conforme Sansovini, Frilli & Gimignano (1991), as companhias Frilli Costruzioni Industriali S.p.A.-CIF e Delta T Corporation-DTC fizeram um acordo em 1989, o que deu oportunidade à CIF de adquirir da DTC os direitos de patente de uma planta de desidratação de etanol usando peneiras moleculares no mercado europeu.

No início de 1990 a companhia CIF venceu um contrato para a construção, na Europa, de uma planta de destilação com a capacidade de 300.000 litros de etanol por dia. Em fevereiro de 1991 a planta iniciou a sua operação com sucesso(SANSOVINI, FRILLI & GIMIGNANO, 1991).

A planta é operada e supervisionada através de computadores. O início, a operação em ciclo normal, bem como as paradas, são completamente automatizadas. Além disso, segundo

Sansovini, Frilli & Gimignano (1991), o uso de material de alta resistência e qualidade nos componentes da instalação, garantirão a limpeza e a durabilidade da planta.

Pelo que se infere destes autores, a suposta grande vantagem desta instalação em relação às suas congêneres surge do fato dela ter se utilizado das lições aprendidas com erros cometidos em experiências anteriores de outros fabricantes, de ser uma planta integrada, não adaptada a uma instalação pré-existente, e o uso de matérias de alta qualidade. Mas estes autores, contudo, não se referem ao custo de produção da companhia CIF.

A tecnologia de membranas pode ser utilizada para a separação do etanol durante a fermentação, como já foi visto, como pode ser empregada para efetuar a desidratação do etanol até a produção do álcool anidro.

Conforme Le Bouar & Missaglia (1991), um tipo de pervaporação, uma tecnologia com o uso de membranas, desenvolvida pelo grupo Le Carbone-Lorraine, é uma forma eficiente e econômica de se efetuar a desidratação final do etanol, de forma a passar a se produzir álcool anidro ao invés de hidratado, ou mesmo de se aumentar a capacidade já instalada de uma destilaria de álcool anidro.

Embora esta tecnologia seja conhecida a mais de setenta anos, apenas nos últimos dez anos ela tem sido empregada para fins industriais. Este desenvolvimento tem sido realizado pela GFT, uma subsidiária da companhia Le Carbone-Lorraine, graças ao desenvolvimento de uma nova e altamente seletiva membrana composta (LE BOUAR & MISSAGLIA, 1991).

Segundo Le Bouar & Missaglia (1991) houve um rápido desenvolvimento deste processo na França, onde existem atualmente duas plantas, com capacidades de produção de 150.000 e 35.000 litros/dia, utilizando este processo, o que pode servir de referência para outros países. Ainda segundo estes autores, a desidratação por pervaporação leva à economia de energia na produção de etanol e evita alguns problemas ambientais existentes na desidratação tradicional, devido ao uso de petroquímicos cancerígenos como agentes desidratadores.

4.4 Produção de Etanol a Partir da Lignocelulose

Toda biomassa é constituída, numa base seca, quase que totalmente de lignocelulose, material que, através de vários processos, pode ser parcialmente transformado em

combustíveis líquidos, mais especialmente o etanol e o metanol. Cada um destes vários processos de transformação apresenta rendimentos diferentes entre si bem como diferentes custos de produção.

A antiga União Soviética foi o único país a praticar a transformação de biomassa em etanol em larga escala, chegando a existir cerca de setenta fábricas naquele país realizando esta operação.

Existem basicamente duas formas de se transformar biomassa² em etanol: os processos termoquímicos e os processos bioquímicos ou enzimáticos. Na antiga União Soviética o processo utilizado era o de Schoeller, processo termoquímico que consiste basicamente no tratamento dos materiais lignocelulósicos com soluções diluídas de ácido sulfúrico, em condições pré-estabelecidas de temperatura e tempo. Este processo tem rendimento bastante baixo e seria proibitivo economicamente a não ser em uma economia fortemente controlada pelo governo, como ocorria na ex-União Soviética.

Versões mais aperfeiçoadas de certos processos termoquímicos para a transformação de lignocelulose em etanol podem ser economicamente viáveis em economias capitalistas onde exista uma séria preocupação governamental com relação ao meio ambiente, assim como a disponibilidade de biomassa a um preço bastante baixo, como é o caso de resíduos da agroindústria florestal e de material lignocelulósico presente em lixo urbano na forma de papel, papelão, etc. No Canadá e na Suécia as perspectivas a médio e longo prazo para este tipo de operação parecem promissoras.

A fermentação de um crescente excedente de grãos para a sua transformação em etanol no curto prazo, e a utilização do sorgo sacarino para produzir etanol e de seu bagaço para a cogeração de calor e eletricidade, deverão ser umas das opções na área energética de vários países da União Européia no médio prazo.

Segundo Grassi (1991), bioetanol pode ser produzido sem qualquer subsídio dentro da União Européia a partir do sorgo sacarino, com um rendimento equivalente a uma produção de 7 a 14 toneladas de açúcar/hectare por ano, utilizando o bagaço para a produção de eletricidade, polpa para papel e bioetanol (sendo que os dois primeiros subprodutos têm alto valor econômico dentro da União Européia). Neste cenário, a venda dos subprodutos permitiria que se obtivesse açúcar a um custo bastante baixo: US \$ 134,55 por tonelada, ou, alternativamente, bioetanol a um custo de US \$ 0,36 por litro.

² Embora o milho também seja, tecnicamente, uma biomassa, neste texto o conceito de biomassa é mais específico, uma vez que não considera a produção de etanol a partir de biomassa abrangendo a tradicional produção de bioetanol a partir do milho.

Nos Estados Unidos o uso de biomassa para fins energéticos, que no momento representa cerca de 4 por cento do consumo da energia primária naquele país, deverá aumentar para cerca de 15 por cento no primeiro quarto do século XXI e, provavelmente, ainda mais até o final do próximo século. A produção de etanol a partir da lignocelulose presente na biomassa deverá apresentar um rápido desenvolvimento comercial já a partir do começo do próximo século nos EUA, por razões ambientais, estratégicas, sociais e, talvez, até mesmo econômicas, uma vez que o custo de produção de etanol a partir da biomassa tem diminuído bastante nos EUA.

A grande diferença tecnológica entre o que tem sido feito nos Estados Unidos e na grande maioria dos outros países é que a produção de etanol a partir da biomassa nos EUA tem apresentado resultados promissores, através do emprego de um processo enzimático.

Biomassa contribui com cerca de 15 por cento do consumo de energia primária a nível mundial, e com 38 por cento nos países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento. A maior parte desta biomassa é utilizada principalmente na cocção de alimentos e para aquecimento nas áreas rurais dos países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento, e frequentemente na mesma forma em que foi utilizada por milênios. Biomassa também pode ser convertida em modernos energéticos como combustíveis líquidos, gasosos e eletricidade, que podem ser usados mais largamente em sociedades mais ricas. São boas as perspectivas de que estes energéticos possam ser produzidos a partir da biomassa a custos competitivos sob um grande número de circunstâncias. Adicionalmente, se a biomassa é utilizada de uma forma sustentável a sua produção e uso não acrescenta dióxido de carbono na atmosfera, uma vez que o dióxido de carbono liberado durante a combustão é recapturado pela biomassa durante a fotossíntese(HALL et alii, 1993).

Biomassa para energia pode ser obtida de resíduos de cultivos agrícolas já instalados e de indústrias que usam como matéria-prima florestas nativas ou comerciais. O uso de florestas nativas para a produção de biomassa será limitado, devido à preocupação ambiental. Ao longo das duas próximas décadas novas indústrias de bioenergia serão estabelecidas utilizando-se, principalmente, de resíduos como matéria-prima. A seguir, a base industrial caminhará para "plantations", a maior de todas as fontes potenciais de biomassa(HALL et alii, 1993)

As florestas existentes podem, frequentemente, oferecer biomassa adicional além da oferecida pelos resíduos da exploração comercial de florestas. Em muitas florestas de clima temperado a quantidade de biomassa removida anualmente é muito menor do que o crescimento anual. Um estudo realizado pelo U.S. Office of Technology Assessment-OTA

estimou que nos anos setenta o crescimento líquido anual das florestas comerciais nos EUA esteve entre 400 e 800 milhões de toneladas de material seco, enquanto o corte de madeira para fins industriais totalizou somente 180 milhões de toneladas por ano. A produção das florestas tende a ser menor do que se haveria de esperar quando o corte é muito menor que o crescimento. Boa parte do estoque de madeira não cortada, que frequentemente apresenta qualidade muito baixa para a venda nos mercados tradicionais, é apropriada para aplicações energéticas. A remoção de estoque de madeira de baixa qualidade para propósitos energéticos pode, simultaneamente, estimular o aumento da produção de madeira de alta qualidade (HALL et alii, 1993).

O uso de bioenergia não está confinado apenas aos países em desenvolvimento. Nos Estados Unidos a biomassa contribui com cerca de 4 por cento da energia primária, sendo que as projeções indicam que a participação da biomassa deverá crescer para 10 por cento do total de energia a ser fornecida no próximo século naquele país. A indústria americana baseada no uso de biomassa é um vívido exemplo do rápido crescimento no uso da biomassa. A indústria gera 9.000 MW de eletricidade, em comparação com apenas 250 MW que ela gerava em 1980. Isto é resultado de estímulos políticos que encorajaram formas alternativas de geração de eletricidade. A indústria do etanol nos Estados Unidos também se desenvolveu substancialmente. Em 1990 foram produzidos 3,4 bilhões de litros de etanol para serem adicionados à gasolina, mas, enquanto isso, a capacidade de produção em 1990 era estimada em 5,6 bilhões de litros, com 60 unidades industriais de produção presentes em 22 estados (HALL & ROSILLO-CALLE, 1991).

Na União Européia o uso de biomassa crescerá dos atuais 2 a 4 por cento para cerca de 5 a 10 por cento da necessidade de energia primária no começo do próximo século, sendo que lá pelo ano 2.000 a União Européia poderá estar fazendo uso de biomassa para produzir, sustentavelmente, 75 milhões de toneladas equivalentes de petróleo por ano (cerca de 1,5 milhões de barris equivalentes de petróleo por dia), o que equivale a 7 por cento do total de sua necessidade de energia primária atualmente. Na Suécia, atualmente, cerca de 13 por cento da energia primária provem de biomassa e há planos para se aumentar o uso de biomassa para até 50 por cento. No Canadá, cerca de 7 a 8 por cento da demanda final de energia é atendida por biomassa (HALL & ROSILLO-CALLE, 1991).

Biomassa é frequentemente uma fonte de energia sem o devido reconhecimento em muitos países em desenvolvimento porque ela é frequentemente considerada como o "combustível da gente pobre", o que a leva a ter pouco ou nenhum prestígio junto aos

pesquisadores e aos empresários. Assim, qualquer nova forma de energia provinda da biomassa requer o uso de uma tecnologia razoavelmente avançada, para que ela tenha qualquer chance de sucesso, quanto a sua aceitação(HALL & ROSILLO-CALLE, 1991).

4.4.1 Produção de Etanol Proveniente da Lignocelulose nos Estados Unidos

4.4.1.1 Aspectos gerais

O impacto total das emendas do US Clean Air Act, de 1990, será sentido pelos refinadores de petróleo, pelos distribuidores de gasolina e pelos motoristas dos Estados Unidos apenas a partir de 1995, quando as especificações da gasolina reformulada forem implementadas para todos os períodos do ano. Entre 1995 e o ano 2000 a maioria da gasolina consumida nos veículos dos EUA (435 bilhões de litros por ano ou 7.500.000 de barris por dia) deverá ser de gasolina reformulada, contendo até 18 por cento, em volume, de oxigenantes(ANDERSON, HAMALIUK & HALLBERG, 1993).

Atualmente a maior parte da demanda por oxigenantes tem sido atendida com o MTBE e o etanol, embora o TAME ("tertiary amyl methyl ether") e os éteres provindos do etanol, o ETBE e o TAEE, também tenham algum significado. Os éteres são preferíveis ao etanol pela maior parte dos refinadores, porque estes oxigenantes possuem, em relação ao etanol, quando em mistura com a gasolina, uma maior octanagem e uma menor pressão de vapor. Os éteres levam também a um significativo efeito de diluição do benzeno, dos aromáticos, das olefinas e do conteúdo de enxofre, assim, a gasolina reformulada resultante é mais homogênea. Em comparação, o metanol e o etanol têm pressões de vapor em mistura muito altas, além de não serem completamente miscíveis com a gasolina devido à sua afinidade com a água, com os consequentes problemas relacionados à separação de fases(ANDERSON, HAMALIUK & HALLBERG, 1993).

Obviamente que para atender a esta demanda sendo criada por etanol e por seus derivados, como já se observou neste texto, é preciso aumentar a produção de etanol nos Estados Unidos. Alguns objetivos do Departamento de Energia dos Estados Unidos, no que se refere aos biocombustíveis, estão expressos no programa da Divisão de Sistemas de

Biocombustíveis, Biofuels Systems Division-BSD, agência federal americana. Este programa será visto a seguir.

Em 1990 os Estados Unidos estava consumindo um total de energia igual a $8,86 \cdot 10^{19}$ joules por ano. Naquele ano os biocombustíveis contribuíram com aproximadamente $2,95 \cdot 10^{18}$ joules, ou aproximadamente 2,8 quads³, para a matriz energética americana, contribuição esta que representou 3,3 por cento do total de energia consumida nos Estados Unidos. A maior parcela da contribuição dos biocombustíveis foi consumida pela indústria de produtos de papel e madeira em sistemas de cogeração, utilizando-se dos resíduos de madeira para fornecer energia para seus processos industriais. Uma contribuição significativa também foi feita pela crescente indústria de etanol produzido a partir do milho, que está predominantemente centrada na região meio-oeste dos Estados Unidos, onde o etanol é usado para produzir "gasohol", uma mistura contendo 10 por cento de etanol e 90 por cento de gasolina. Em 1990 mais de 4 bilhões de litros -cerca de 1 bilhão de galões- de etanol foram bombeados para os tanques dos EUA. Uma contribuição responsável por cerca de 0,8 por cento do consumo de combustível no setor de transporte naquele ano(DOE, 1993).

Os objetivos principais do programa da Biofuels Systems Division-BSD são baixar o custo do etanol produzido a partir da biomassa para US\$ 0,18 por litro e o custo do metanol também produzido a partir da biomassa para US\$ 0,14 por litro nas proximidades do ano 2000 (valores em dólares de 1990). Estes custos são competitivos com o custo projetado para a gasolina no mercado atacadista sem que haja a necessidade de subsídios para os biocombustíveis(DOE, 1993).

Para alcançar estes objetivos seria preciso aumentar a produtividade e a qualidade do estoque de biomassa disponível para uso comercial e aperfeiçoar as tecnologias de conversão de biomassa em combustíveis para uso no setor de transporte. Visando este fim, foi desenvolvido um plano técnico cobrindo o período de 1992 até 1996, que se concentra em duas áreas principais: a) sistemas de produção de biomassa baseados em terra e em água, e b) a conversão biológica e termoquímica dos estoques de biomassa. O uso de biocombustíveis em apenas 10 por cento dos 200 milhões de veículos rodando nas estradas dos EUA poderia reduzir as importações de petróleo em quase 1 milhão de barris a cada dia(DOE, 1993).

Desde que o último programa foi publicado em 1988, a demanda por combustíveis alternativos e por combustíveis oxigenantes no setor de transportes dos Estados Unidos cresceu constantemente, e espera-se que ela venha a elevar-se a um nível muito alto nas duas

³Um quad é exatamente igual a 10^{15} Btu.

próximas décadas. Muitos fatores, entre os quais a segurança do país no setor de energia, a prosperidade econômica e preocupações de ordem ambiental, são responsáveis por este aumento na demanda(DOE, 1993).

Os combustíveis utilizados no setor doméstico de transportes são quase que exclusivamente (mais de 97 por cento) derivados do petróleo e são responsáveis por cerca de 64 por cento do total de consumo de petróleo nos Estados Unidos. Em 1990, mais de 40 por cento do petróleo utilizado era importado. Uma vez que os Estados Unidos tem 5 por cento das reservas mundiais de petróleo e os países do Oriente Médio tem cerca de 75 por cento, as importações americanas deverão, provavelmente, continuar a aumentar(DOE, 1993).

O suprimento doméstico de petróleo é, também, a mais limitada das fontes de energia dos Estados Unidos. A relação entre o total estimado de reservas recuperáveis e a taxa de utilização destas reservas está, atualmente, em 16 anos. O petróleo importado foi responsável por cerca de 44 por cento do déficit da balança comercial em 1989 e o total de despesas com o petróleo foi de cerca de 2 por cento do produto nacional bruto. Este papel do petróleo, que já é proeminente, deverá aumentar à medida em que a exploração e a produção interna deste energético se tornar mais cara e o custo e o volume das importações aumentarem(LYND et alii, 1991).

De acordo com estudos de laboratórios governamentais dos Estados Unidos a produção de biocombustíveis representam as únicas tecnologias sobre renováveis existentes que são capazes de produzir combustíveis líquidos para o setor de transporte, bem como aditivos de combustíveis, para substituir combustíveis fósseis convencionais(DOE, 1993).

O crescimento de uma indústria de biocombustíveis poderá vir a ser benéfica para a economia dos EUA. Os biocombustíveis são os únicos recursos renováveis que podem fornecer postos de trabalho, altamente necessitados, e desenvolvimento econômico ao longo de toda a nação para os fazendeiros americanos. Os benefícios regionais que podem ser esperados do desenvolvimento de uma indústria de biocombustíveis são promissores. A um preço de 20 dólares por barril de petróleo equivalente, a alternativa dos biocombustíveis evitaria que aproximadamente 11 bilhões de dólares americanos⁴ por ano fossem gastos na importação de petróleo- um benefício interessante para o déficit na balança comercial dos Estados Unidos(DOE, 1993).

Aproximadamente 4 bilhões de litros de etanol são produzidos anualmente nos Estados Unidos, principalmente a partir do milho. O preço de venda do etanol está entre US\$ 0,29 e

⁴Dólares de 1990.

US\$ 0,41 por litro e só é comercialmente competitivo devido a incentivos fiscais e a substanciais lucros obtidos através da venda de subprodutos (ração animal e aditivos alimentares). No seu nível atual a produção de etanol a partir do milho não representa ameaça para o mercado de produção de alimentos. Contudo, se a produção de etanol se elevar para uma faixa de 15 a 19 bilhões de litros por ano, poderiam ocorrer inaceitáveis aumentos nos preços dos grãos e uma sobre-oferta no mercado de subprodutos(DOE, 1993).

Uma alternativa promissora para a produção de etanol a partir do milho, o qual é altamente rico em carboidratos, é a produção de etanol a partir da lignocelulose presente na biomassa, como a produzida em culturas energéticas e a encontrada em porções significativas do lixo sólido urbano(DOE, 1993).

4.4.1.2 Possíveis perspectivas para a produção de etanol a partir de biomassa

Em 1991 o Departamento de Energia dos Estados Unidos anunciou publicamente, pela primeira vez, sua Estratégia Nacional de Energia, um conjunto de medidas de ordem política visando aumentar a eficiência no trato com a energia e a reduzir a dependência dos Estados Unidos com relação à importação de combustíveis fósseis. A estratégia da suporte a um tipo particular de metodologia, a análise integral do ciclo do combustível, de forma a quantificar os custos e benefícios das opções de política energética(RILEY & TYSON, 1993).

Muitas das opções políticas do DOE envolvem combustíveis alternativos, combustíveis não fósseis feitos a partir de recursos energéticos renováveis como a biomassa (madeira, gramíneas, e rejeitos contendo celulose), e as energias heólica e solar. Algumas tecnologias relacionadas às energias heólica e solar estão nos primeiros estágios de comercialização, enquanto outras tecnologias requerem mais pesquisa e desenvolvimento para atingirem o mercado. Resultados promissores nas pesquisas para a produção de etanol a partir da biomassa levaram o DOE, Department of Energy, a considerar que este tipo de tecnologia poderá ser comercializável por volta de 2005, ou mais cedo, caso haja um aumento nos orçamentos de pesquisa e desenvolvimento. O etanol e os seus derivados poderão contribuir significativamente para a indústria de transportes por volta do ano 2010(RILEY & TYSON, 1993). Os parágrafos a seguir também se baseiam nestes autores.

Sob pedido do DOE, análises de ciclo de combustível foram completadas para uma hipotética indústria de etanol a partir de biomassa no ano 2010, e para a produção de gasolina reformulada em 2010.

Segundo Riley & Tyson (1993), cada ciclo de combustível foi dividido em cinco estágios: produção da matéria-prima; transporte da matéria-prima; produção do combustível; transporte do combustível e uso final, sendo que as atividades associadas a cada estágio foram identificadas e caracterizadas. Com base nas caracterizações técnicas gerou-se dados sobre os níveis de insumos e produtos e das emissões produzidas no decorrer de cada atividade. Os dados coletados para cada ciclo de combustível foram organizados e mantidos em um banco de dados para análises subsequentes. A tabela 4.1, a seguir, mostra apenas um exemplo dos tipos de dados coletados para cada atividade.

Tabela 4.1 Dados coletados, por exemplo, sobre insumos, produtos e emissões

INSUMOS	PRODUTOS	EMISSÕES
Matéria-Prima:	Combustíveis:	CO ₂
petróleo	gasolina	CO
biomassa	etanol	NO _x
Combustíveis:	Subprodutos:	carbonos orgânicos voláteis
diesel	produtos refinados	SO ₂
MTBE	eletricidade	particulados
gás natural		substâncias tóxicas
Substâncias Químicas:		águas efluentes
fertilizantes		resíduos sólidos
pesticidas		
catalizadores		
Água		
Mão-de-Obra		
Eletricidade		

Fonte:(RILEY & TYSON, 1993)

Considerou-se que o E-95 produzido seria utilizado em veículos rodando apenas com este combustível. Tanto o E-95 quanto a gasolina reformulada seriam usados, separadamente, em veículos leves que refletissem o nível de tecnologia que se espera esteja disponível por volta do ano 2010. Também foi assumido que uma indústria produtora de etanol a partir da biomassa, recentemente estabelecida e operando eficientemente, estaria funcionando por volta de 2010. O etanol seria produzido a partir da lignocelulose obtida de uma série de culturas agrícolas produtoras de biomassa: árvores de ciclo curto, ou seja, com pouco espaço de tempo entre o plantio e o corte; culturas agrícolas de colheita anual como o sorgo para forragem; e culturas agrícolas permanentes de gramíneas, com um ou dois cortes por ano, como é o caso da switchgrass⁵.

Com relação à gasolina reformulada, também se considerou, similarmente, que ela seria produzida a partir de petróleo doméstico e importado por volta de 2010. Também considerou-se que a indústria do refino de petróleo teria adotado vários controles de poluição ambiental que estão sob consideração atualmente. As projeções dos combustíveis derivados do refino do petróleo e outros subprodutos são consideradas.

Baseando-se nas projeções de eficiência de motores para 2010, foi assumido que os veículos movidos exclusivamente a etanol e aqueles movidos a gasolina poderiam atingir um consumo igual a 11,96 e 15,07 km/l, respectivamente. Dadas as incertezas nas projeções de avanços de performance na tecnologia automobilística, considerou-se que as emissões por automóveis não excederiam os limites propostos pela EPA, na parte II de sua regulamentação, que é para veículos leves à ignição por centelha. Assim, as emissões de uso final para os dois tipos de veículos são substancialmente semelhantes, com algumas diferenças existentes devido às diferentes composições dos combustíveis (RILEY & TYSON, 1993).

No estudo original, considerou-se que uma frota de veículos leves de passageiros viajava 1 bilhão de milhas. A quantidade de combustível necessária para suprir esta frota era determinada através da eficiência dos veículos no consumo de combustível. A somatória da quantidade de insumos consumidos e de produtos criados para produzir e utilizar o

⁵Switchgrass já foi como a água de um mar de pradarias sem fronteiras, indo do Canadá até a América do Sul. Ela nutriu o búfalo. As suas raízes ajudaram a fixar o solo sobre o qual os pioneiros construíram as suas casas. Crescendo a cada primavera, ela tornava-se alta nos meses mais quentes e secos do ano. Hoje a switchgrass pode até servir como cultura energética. Sendo tipicamente perene, esta gramínea de caule avantajado pode crescer mais do que 6 pés. Suas raízes profundas permitem que ela cresça vigorosamente em solos de baixa qualidade. Ela produz boas colheitas mesmo em anos de seca e o seu trato cultural é igual ao do feno ou da alfafa. É necessário 1 ano para se estabelecer uma cultura de switchgrass a partir de sementes. Depois disto, com manejo apropriado, a switchgrass apenas continua a crescer ano após ano. Como as suas raízes constroem constantemente a cobertura do solo, uma cultura de switchgrass já estabelecida requer um mínimo de fertilizantes e cuidados. Colheitas para fins energéticos podem ser realizadas uma ou até duas vezes durante uma estação de crescimento (NREL, 1994a).

combustível necessário para se percorrer 1 bilhão de milhas foi obtida considerando-se todas as atividades no ciclo do combustível. Estas somatórias foram normalizadas em termos de unidades por milha, o que era obtido dividindo-se uma somatória de uma determinada espécie por 1 bilhão de milhas. Assim, os ciclos dos dois combustíveis, gasolina reformulada e E-95, puderam ser comparados numa mesma base, como no caso de emissões por milha percorrida.

Riley e Tyson (1993) apresentam principalmente os resultados encontrados com relação às emissões de poluentes e aos rendimentos energéticos na produção do E-95 e da gasolina reformulada no cenário estabelecido.

As emissões atmosféricas formaram o principal objeto de análise. A tabela 4.2, a seguir, mostra um resumo de algumas emissões selecionadas de gases a partir dos ciclos de combustível do etanol e gasolina reformulada, GR, por estágio de produção.

Tabela 4.2 Emissões geradas pela gasolina reformulada e pelo etanol, em mg/milha⁶

Emissões	Combustível	Produção da Mat. Prima	Transporte da Mat. Prima	Produção do Combustível	Transporte do Combustível	Uso Final	Total
CO	E-95	43,5	7,3	100,0	2,0	1700	1853
	GR	6,4	9,0	7,3	3,0	1700	1726
NO _x	E-95	44,0	11,0	67,0	7,0	200	329
	GR	37,0	21,0	66,0	5,0	200	329
SO ₂	E-95	2,0	0,8	21,0	0,2	3,7	27,7
	GR	5,0	0,9	40,0	0,3	40	86,2
VOC*	E-95	10,0	2,0	18,0	17,0	160	207
	GR	13,0	12,0	4,0	35,0	180	244

Fonte:(RILEY & TYSON, 1993)

*Carbonos Orgânicos voláteis, não biogênicos

O ciclo de combustível do etanol produz entre 6 e 8 por cento mais monóxido de carbono que o ciclo de combustível da gasolina, especialmente como resultado do tipo de caldeira e do combustível utilizado para fornecer energia à planta de etanol. É interessante

⁶ Uma milha corresponde a 1609m.

notar-se que cerca de 92 por cento das emissões de CO são produzidas no uso final. Tanto para a gasolina reformulada quanto para o E-95 são similares as quantidades emitidas de NO_x e de VOCs. Apesar do E-95 indicar uma redução de 15 por cento na emissão de VOCs em relação à gasolina reformulada, provavelmente devido ao fato do E-95 ser menos volátil, os VOCs lançados pelos dois combustíveis são diferentes e ainda há possibilidade de haver erros estatísticos. Até o momento não se tem informações suficientes sobre os componentes dos VOCs lançados pelos carros movidos exclusivamente a E-95, com o objetivo de atender as normas do Clean Air Act Amendments-CAAA(RILEY & TYSON, 1993).

Etanol puro não contém enxofre. As emissões de SO₂ do E-95 durante o estágio de uso final são resultantes da gasolina desnaturante. Grande parte das emissões do ciclo de combustível do E-95 são produzidas durante a combustão de resíduos nas caldeiras da produção de etanol. Proteínas na biomassa contém enxofre, fonte das emissões de SO₂ a partir da caldeira. O óleo combustível utilizado nos veículos de transporte e de operações agrícolas produz o restante das emissões de SO₂.

O E-95 pode reduzir as emissões líquidas de CO₂ em quase 91 por cento em comparação com a gasolina reformulada. A regeneração da biomassa utilizada como matéria-prima contrabalança a combustão de resíduos orgânicos na caldeira e a combustão do E-95 nos motores dos veículos. As emissões de CO₂ criadas no ciclo de combustível do E-95 são resultantes do desnaturante utilizado e das emissões produzidas pelos veículos movidos a diesel nas operações de trato cultural e transporte. A substituição do diesel por combustíveis derivados de matéria orgânica, como éteres vegetais, poderia fornecer benefícios adicionais na forma de redução das emissões de CO₂(RILEY & TYSON, 1993).

Os combustíveis utilizados em transportes respondem por cerca de 27 por cento das 3,3 bilhões de toneladas de CO₂ que são lançadas todos os anos nos Estados Unidos a partir da queima de combustíveis fósseis. Os veículos são responsáveis por 4,7 por cento do total das emissões globais de CO₂ causadas pelo homem, sendo que os veículos nos Estados Unidos são responsáveis por 2,5 por cento destas mesmas emissões(LYND et alii, 1991).

No atual nível de compreensão da tecnologia de produção de etanol a partir da lignocelulose estima-se que, com o seu emprego, no melhor cenário não haveria contribuição na acumulação de CO₂ e no pior cenário a sua contribuição para esta acumulação deverá ser igual a um quinto da contribuição da gasolina(LYND et alii, 1991).

Um balanço energético foi realizado para cada ciclo de combustível, o da gasolina reformulada e o do E-95. Nos dois casos o balanço energético foi baseado nos níveis de

matéria-prima e combustível fornecidos ao ciclo e no nível de obtenção de combustível ao final do mesmo. Considerando-se a energia fóssil fornecida ao ciclo do E-95, observou-se que é necessário apenas 1 Btu de energia de combustível de origem fóssil para produzir cerca de 4,07 Btu de E-95, mas que 1 Btu de energia de combustível fóssil produz somente cerca de 0,79 Btu de gasolina reformulada. A maioria da energia consumida no ciclo de combustível do E-95 está relacionada à produção da matéria-prima, à distribuição do E-95 e a outras necessidades de transporte. A maior parte do consumo de energia no ciclo de combustível da gasolina reformulada ocorre no refino, na distribuição da gasolina e em outras atividades relacionadas com transporte. Quando se leva em conta a eficiência relativa entre os motores, em termos de milhas por unidade de energia cedida pelo combustível, determinou-se que o ciclo de combustível do E-95 tem uma eficiência no uso de energia fóssil que é 5,8 vezes maior do que a do ciclo de combustível da gasolina reformulada. A utilização do etanol e seus derivados em substituição à gasolina pode estender as reservas de petróleo por um período de tempo mais longo. Outros benefícios incluem a diversidade nas fontes disponíveis de energéticos, menor gastos com a importação de óleo cru e uma base maior de produção de energia interna(RILEY & TYSON, 1993).

4.4.1.3 Considerações técnicas e econômicas

Um fator chave quando se considera o rendimento energético da produção de etanol a partir da celulose é a energia disponível contida nos resíduos após a fermentação. Cogita-se que componentes não fermentáveis da matéria-prima, particularmente a lignina, podem ser secados mecanicamente e queimados para fornecer entre 30.000 e 40.000 Btu por galão de etanol, uma quantidade de energia que excede às atuais necessidades de energia para processamento nos projetos para operarem com madeira como fonte de matéria-prima. Este excedente de energia pode ser utilizado para gerar eletricidade num processo de cogeração. A eficiência térmica (poder calorífico do etanol mais três vezes a energia elétrica gerada, referente ao poder calorífico de combustão da matéria-prima) da produção de etanol a partir de materiais com base na celulose, no caso de processos com alto rendimento, está na faixa de 45 a 70 por cento, dependendo do tipo de matéria-prima e da configuração do processo(LYND et alii, 1991).

O processo utilizado para conversão de biomassa para etanol através de métodos bioquímicos depende da natureza da matéria-prima. Biomassa lignocelulósica (madeiras duras e macias, culturas herbáceas como as gramíneas, etc.) é constituída de três componentes principais: a celulose, a hemicelulose e a lignina. A maior porção da biomassa é a celulose, que possui estrutura cristalina, e que tem participação de cerca de 46 por cento, em peso, em uma madeira dura típica. Este componente consiste de longas cadeias de moléculas de glicose que, devido ao seu empacotamento cristalino, são difíceis de hidrolizar (quebrá-las em açúcares), seja com enzimas ou ácidos à altas temperaturas. Contudo, uma vez que os açúcares estão produzidos, eles são fáceis de se fermentar. A segunda fração da biomassa é a hemicelulose, com uma participação de cerca de 30 por cento em peso na biomassa, e que consiste de polímeros do açúcar xilose com cinco átomos de carbono, assim como de outros açúcares e de ácidos orgânicos. Como esta porção não é cristalina, ela é fácil de ser hidrolizada, contudo, a xilose não pode ser fermentada para a produção de etanol por meio de fermentos convencionais, e os ácidos orgânicos não podem ser fermentados para a produção de etanol. A lignina, a terceira e última das grandes frações da biomassa, com cerca de 24 por cento em peso, é um polímero fenólico que não pode ser fermentado para a produção de etanol. Numa base energética, a celulose é responsável por 42 por cento do conteúdo energético da biomassa, a hemicelulose por 26 por cento e a lignina por 32 por cento (WRIGHT & FEINBERG, 1993).

É interessante notar-se que a porcentagem em peso da celulose na matéria seca da biomassa e a sua participação, em termos percentuais, no conteúdo energético da biomassa seca são de 46 e 42 por cento, respectivamente. No caso da hemicelulose esta queda percentual também se verifica pois, para as duas propriedades físico-químicas consideradas, a hemicelulose cai de 30 por cento na participação, em peso, para 26 por cento no conteúdo energético total da biomassa. A lignina, justamente ela que não pode ser utilizada para a produção de etanol, embora participe com somente 24 por cento, em peso, da matéria seca da biomassa, participa com 32 por cento no conteúdo energético total.

As consequências deste fato são, obviamente, muito interessantes. Pode-se dizer que ele conduz a uma maior produção de etanol por kg de biomassa, nas porções de celulose e hemicelulose, e a uma maior produção excedente de energia por kg de biomassa, no caso da porção de lignina. Isto leva a uma menor flexibilização do que aquela que seria possível caso toda a biomassa possuísse propriedades físico-químicas semelhantes, pois, neste caso, poder-se-ia produzir mais etanol ou mais eletricidade dependendo da necessidade do momento. Isto

porque somente a celulose e hemicelulose podem ser utilizadas para produzir etanol, enquanto que a lignina só tem sentido se for queimada, para fornecer energia térmica ao processo ou para gerar energia elétrica. É interessante notar-se, além disso, que a hemicelulose e a celulose podem ser utilizadas para várias outras finalidades, entre as quais, também, simplesmente a queima para gerar energia elétrica. Contudo, a lignina, levando-se em conta as tecnologias conhecidas até o momento, não apresenta qualquer indício que indique a sua transformação, mesmo que parcial, em etanol.

A transformação de biomassa em etanol pode vir a ser bastante interessante para o Brasil nos médio e longo prazos. Isto porque um excedente de bagaço que já exista em uma usina ou destilaria apresentaria custo zero para esta indústria caso fosse utilizado para a produção de etanol a partir de biomassa. Obviamente que deveria se levar em conta o custo de oportunidade do bagaço no caso de se decidir por uma instalação deste tipo. Contudo, a transformação do bagaço em etanol é perfeitamente viável. Segundo COPERSUCAR (1983): "Os tecidos do bagaço tem os mesmos componentes principais que as madeiras, variando em proporções; valores médios de análises de bagaço seco indicam cerca de 50 por cento de celulose, 24 por cento de hemicelulose e 24 por cento de lignina (cerca de 2 por cento de cinzas)".

Segundo Wright & Feinberg (1993) a matéria-prima é trazida para a planta e a hemicelulose é hidrolizada, produzindo xilose, a qual será fermentada através de processos mais avançados. No caso dos processos de hidrólise enzimática, a hidrólise da hemicelulose também abre a estrutura da biomassa ao ataque enzimático. A celulose é, então, hidrolizada até transformar-se em glicose, seja por ácidos ou por enzimas. A glicose resultante é fermentada para produzir etanol através da reação:



A lignina, os açúcares não fermentados e outros materiais orgânicos não fermentados para o etanol são, finalmente, secados e queimados para produzir vapor e eletricidade. A vantagem do processo de bioconversão é que a conversão dos carboidratos pode ser levada a efeito com alta eficiência, frequentemente com uma eficiência de energia⁷ da ordem de 95 por cento. Contudo, existe a desvantagem de que somente as frações constituídas por carboidratos (a celulose e a porção de açúcar da hemicelulose) podem vir a ser convertidas para etanol. Desta forma, a máxima eficiência de energia, possível de ser alcançada, é aproximadamente 60 por cento (WRIGHT & FEINBERG, 1993).

⁷Wright & Feinberg (1993) não especificam se esta "eficiência de energia" foi avaliada em função das energias dos reagentes e dos produtos da conversão ou não.

Wright & Feinberg (1993) avaliaram técnica e economicamente quatro processos de conversão de biomassa em etanol, discriminados a seguir:

- i) Hidrólise ácida e fermentação da glicose (comercial);
- ii) Hidrólise enzimática e fermentação da glicose (planta piloto);
- iii) Hidrólise da celulose com fermentação simultânea, mais fermentação da xilose (laboratório).
- iv) Hidrólise da celulose com fermentação simultânea, mais fermentação da xilose (caso conceitual ou avançado).

Segundo Wright & Feinberg (1993) o parâmetro utilizado para comparar os diferentes processos foi o custo de produção do combustível, expresso em termos de US\$/GJ (baixo poder calorífico). Este parâmetro permite a comparação entre combustíveis com diferentes calores volumétricos específicos. A matéria-prima considerada para a produção dos combustíveis foi uma madeira dura típica, o carvalho vermelho ou *Quercus rubbra*. O qual era entregue no portão das fábricas simuladas a uma taxa de 1.818 toneladas/dia a um custo igual a US\$ 46/tonelada seca. Considerou-se um projeto básico para a instalação de cada fábrica, sem sofisticções, com um custo típico do meio oeste dos Estados Unidos, do Canadá, Europa Ocidental ou Japão. O custo de produção de cada fábrica foi determinado pela equação a seguir:

$$\text{Custo de Produção} = \frac{\text{CTI} * \text{FRC} + \text{CAO}}{\text{PA}}$$

Onde: CTI= Capital Total do Investimento

CAO = Custo Anual de Operação

PA= Produção Anual

O Fator de Recuperação de Capital-FRC é uma função do retorno econômico esperado para o capital investido, da taxa de inflação, do imposto, do tempo de construção e da vida útil da planta. No caso básico considerado neste estudo o fator de recuperação de capital foi igual a 30 por cento, o que foi equivalente a uma taxa interna de retorno igual a 15 por cento, com uma inflação de 3 por cento e um vida útil igual a 20 anos. Foram realizadas análises de sensibilidade para se determinar os efeitos de variações no tamanho da planta, no custo da matéria-prima e no fator de recuperação de capital para se chegar às conclusões finais deste estudo(WRIGHT & FEINBERG, 1993). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

O primeiro caso estudado, de hidrólise ácida e fermentação da glicose -comercial-, refere-se a uma tecnologia disponível a nível comercial onde a hidrólise é realizada com ácido sulfúrico diluído numa percolação⁸, seguindo-se a fermentação da glicose. O processo de hidrólise através da percolação com ácido diluído foi inicialmente desenvolvido na Alemanha, ao final dos anos vinte, e melhoramentos foram feitos posteriormente nos EUA, na URSS, na Nova Zelândia e na Suíça, ao longo dos anos quarenta até os anos oitenta.

Mais de 30 instalações comerciais chegaram a operar ao mesmo tempo na União Soviética com este tipo de processo. Ele caracteriza-se por ser do tipo semi-batelada, com alta temperatura (entre 150 e 180 °C) e com o emprego de ácido sulfúrico diluído (0,5 por cento em peso) para quebrar a celulose e a hemicelulose, transformando-as em açúcares. Depois disso segue uma fermentação padrão baseada no emprego do fermento *S. cerevisiae* para converter a glicose em etanol. Mas o processo não é muito eficiente. Porque a celulose, que se apresenta na forma de cristais, é resistente ao ataque químico, além disto, as severas condições necessárias para hidrolizar a celulose são também suficientemente severas para destruir os açúcares produzidos. Como resultado, o rendimento é relativamente baixo, 63 por cento dos açúcares potencialmente fermentáveis do tipo carbono-seis são convertidos em glicose. Após esta etapa, o líquido hidrolizado é neutralizado e enviado para a fermentação. Como muitos dos produtos da degradação do açúcar são tóxicos, a eficiência da fermentação é, também, relativamente baixa, 85 por cento. O mais importante, porém, é que a fração constituída pela xilose não pode ser transformada em etanol. A eficiência energética total da produção de etanol -conteúdo energético do etanol/conteúdo energético da madeira- é de apenas 20 por cento, neste tipo de processo.

O capital investido por unidade do produto é bastante elevado, pois devido à baixa eficiência a produção anual é pequena. O custo de produção é elevado, US\$ 33/GJ ou US\$ 0,70/litro, e é aproximadamente dividido ao meio entre o custo dos insumos e as cargas relacionadas ao capital investido(WRIGHT & FEINBERG, 1993).

O segundo caso estudado foi o de hidrólise enzimática e fermentação da glicose -planta piloto. Devido aos baixos rendimentos inerentes à hidrólise com o emprego de um ácido diluído, a maior parcela de pesquisas nesta área ao longo da década de oitenta manteve o seu foco sobre a hidrólise enzimática. A principal vantagem é que as enzimas transformam a celulose em glicose com pouca ocorrência de produtos de degradação. Portanto, os rendimentos podem ser bem elevados sem a produção de subprodutos tóxicos. O processo

⁸A percolação é a ação ou o processo de um líquido passar através de interstícios.

conhecido por Iogen é um processo de hidrólise enzimática de primeira geração, e um dos poucos que foram testados em escala piloto. Este processo se utiliza de vapor a alta pressão para hidrolizar a hemicelulose e preparar a biomassa para a hidrólise enzimática. As enzimas são produzidas por um fungo (*T. reesei*) que sofreu muitas mutações. Infelizmente, o processo de hidrólise requer grandes quantidades de enzimas, porque os açúcares produzidos durante a hidrólise inibem sua atividade. A produção de um volume muito grande de enzimas seria muito cara, assim, o processo de hidrólise acaba tendo um rendimento relativamente baixo. Por outro lado, altos rendimentos implicariam em tempos de processamento extremamente demorados ou na utilização de quantidades imensas de enzimas a um custo que seria proibitivo. Após a hidrólise, a glicose é fermentada com um rendimento de 95 por cento na sua transformação para etanol com o emprego do fermento *S. cerevisiae*.

A eficiência do processo é consideravelmente maior do que no caso anterior, apresentando um rendimento energético de 30 por cento na transformação da biomassa em etanol. Contudo, o capital inicial investido é também bastante elevado, principalmente as parcelas deste capital relacionadas com os seguintes fatores: as enzimas, o longo tempo do processo de hidrólise e a necessidade de um pré-tratamento. O capital inicial seria elevado numa planta operando com este tipo de processo, mas igualmente elevada seria a sua capacidade anual de produção. O custo final de produção do etanol seria reduzido ligeiramente para US\$ 29/GJ ou US\$ 0,62/litro (WRIGHT & FEINBERG, 1993).

O terceiro caso analisado por Wright & Feinberg (1993) foi o de hidrólise da celulose com fermentação simultânea, mais fermentação da xilose -laboratório. Este processo é conhecido pela sigla SSF, em função de seu nome em inglês: Simultaneous Saccharification and Fermentation-SSF with Xylose Fermentation. O processo SSF combina a hidrólise enzimática e a fermentação em um único processo, através de uma única operação. Neste processo, o fermento converte os açúcares em etanol à medida em que estes vão sendo produzidos, impedindo a montagem de açúcares que inibem a atividade das enzimas e, desta forma, reduzindo a quantidade requerida de enzimas. O tempo de reação é um pouco maior do que no caso anterior, porque a introdução do fermento no processo de hidrólise requer que a reação ocorra a uma temperatura mais baixa. A segunda importante inovação é a adição de uma etapa de fermentação da xilose, que se utiliza de um fermento trabalhado pela engenharia genética, o *E. coli*, para transformar a xilose em etanol. Este processo estava sob desenvolvimento nos EUA no National Renewable Energy Laboratory-NREL, vinculado ao DOE. Todas as principais etapas do processo tinham sido demonstradas individualmente, mas

informações referentes a sua operação integrada ainda não haviam sido divulgadas. Wright & Feinberg (1993) basearam sua análise deste processo em Chem Systems (1990) e em Hinman et alii (1991), para o caso de laboratório e para o caso conceitual, respectivamente.

O processo de fermentação SSF-xilose a nível de laboratório resulta em um decréscimo no capital inicial investido devido principalmente à redução dos requerimentos com relação às enzimas. O investimento por unidade de capacidade de produção é adicionalmente reduzido, devido ao aumento no rendimento que surge em função da fermentação da xilose. Este processo converte biomassa em etanol com uma eficiência de 39 por cento. O custo resultante de produção é de US\$ 17,3/GJ ou US\$ 0,37/litro(WRIGHT & FEINBERG, 1993).

O quarto caso estudado foi o de hidrólise da celulose com fermentação simultânea, mais fermentação da xilose -caso conceitual ou avançado. O projeto do processo avançado de fermentação SSF-xilose é idêntico ao processo a nível de laboratório. Todavia, no caso avançado os rendimentos do processo são maiores. O rendimento total dos açúcares baseados no tipo carbono-seis é aumentado de 72 para 90 por cento, e a eficiência na fermentação da xilose é aumentada de 90 para 95 por cento. Além disso, o tempo requerido para os vários processamentos biológicos é diminuído para menos da metade ou mais. Estes melhoramentos são representativos do que poderia ser alcançado com pesquisa adicional. O caso avançado de fermentação SSF-xilose tem uma eficiência na transformação de biomassa em etanol de cerca de 53 por cento e um reduzido capital inicial de investimento. Esta eficiência se aproxima do limite teórico imposto pela composição da biomassa. O custo projetado de produção do etanol é de US\$ 12,5/GJ ou US\$ 0,26/litro(WRIGHT & FEINBERG, 1993).

Wright e Feinberg (1993) também analisaram o custo de produção do metanol a partir de biomassa, levando em conta vários tipos de tecnologia, assim como fizeram comparações entre as alternativas de se produzir etanol ou metanol a partir de biomassa. A este respeito eles concluem: "Em resumo, no curto prazo a viabilidade econômica dos processos de síntese termoquímica do metanol é superior àquela dos processos bioquímicos. Isto é um resultado direto das eficiências de conversão mais baixas apresentadas pelos processos bioquímicos no curto prazo, devido à incapacidade dos primeiros projetos em transformar xilose em etanol. Nos casos de projetos avançados os custos de produção de metanol ou etanol a partir de biomassa são essencialmente os mesmos, o que provém do fato de que os limites das eficiências de conversão dos processos bioquímicos e termoquímicos são essencialmente os mesmos. Com eficiências equivalentes e sem diferenças significativas no capital de

investimento, em última instância os dois processos apresentariam os mesmos resultados sob o ponto de vista econômico".

Os pesquisadores do DOE já conseguiram reduzir em dois-terços o custo de conversão da biomassa para etanol desde 1980. O objetivo do DOE é reduzir o preço de venda dos biocombustíveis de forma que eles possam competir com a gasolina sem ajuda de incentivos fiscais. Para tanto, seria preciso atingir custos de produção próximos a US\$ 0,18/litro para o etanol e US\$ 0,14/litro para o metanol, o que tornaria estes combustíveis competitivos em relação a gasolina produzida a partir de petróleo custando US\$ 25/barril, em dólares de 1990(NREL, 1994b).

No início da década de noventa a produção de etanol a partir da fermentação de culturas amiláceas, como o milho, era de cerca de 0,8 bilhões de galões por ano nos EUA, com o etanol sendo vendido a cerca de US\$ 1,20 o galão. A companhia que fizesse a mistura etanol/gasolina pagaria pelo etanol que ela comprasse dos produtores um preço que era reduzido em mais de US\$ 0,50 por galão, devido aos incentivos fiscais estaduais e federais. Sem estes incentivos o uso do etanol como combustível, em mistura à gasolina, não seria viável economicamente. Cerca de 7 por cento de toda a gasolina então vendida nos EUA continha etanol ou ETBE(LYND et alii, 1991).

Segundo Lynd et alii (1991), dados e estimativas coletados em uma experiência da companhia Ford, bem como de outros autores, indicam que aproximadamente 1,25 galões de etanol são necessários para se percorrer a mesma distância que se percorreria com 1 galão de gasolina em motores otimizados. Em valores de 1989, quando o preço de venda médio da gasolina era igual a US\$ 0,655/galão, o preço de venda do etanol para que ele competisse com a gasolina sem receber incentivos deveria ser igual US\$ 0,52 por galão. No ano 2000, com o petróleo sendo vendido a um preço médio de US\$ 28 por barril (dólares de 1989), segundo previsões do Departamento de Energia dos EUA, pode-se esperar que a gasolina esteja sendo vendida a um preço igual a US\$ 0,88/galão, desta forma, segundo Lynd et alii (1991), o etanol sendo utilizado isoladamente como combustível deveria ter um preço igual a US\$ 0,70/galão para poder ser competitivo com a gasolina.

No momento é a indústria de produção de etanol a partir do milho que abre o caminho para o uso do etanol como combustível. As misturas de etanol/gasolina foram reintroduzidas em 1979 nos Estados Unidos como uma resposta às interrupções no fornecimento de petróleo. Em 1992 os fazendeiros venderam mais de 5 por cento de sua safra de milho para que se produzisse cerca de 1 bilhão de galões de etanol(NREL, 1994a).

Atualmente, a maior parte da produção de etanol nos Estados Unidos está baseada nos vastos estados do meio-oeste americano, que são grandes produtores de grãos. Lá, cerca de 13 milhões de metros cúbicos de milho, a principal matéria-prima para a produção de etanol nos Estados Unidos, bem como outras culturas amiláceas, são utilizadas para a produção de aproximadamente 3,8 bilhões de litros (1 bilhão de galões) de etanol anualmente. Uma vez que a demanda prevista para o etanol poderá levar a um aumento nos preços dos grãos, o Departamento de Energia está concentrando seus esforços no desenvolvimento de uma alternativa, de uma fonte de matéria-prima a baixo custo: a biomassa. Etanol pode ser produzido a partir de biomassa provinda de recursos internos abundantes, como arbustos e árvores, resíduos agrícolas e florestais, gramíneas, e uma grande parcela do lixo sólido urbano, bem como de resíduos de processos industriais(NREL, 1994c).

O custo da conta: preço de compra da matéria-prima menos preço de venda dos subprodutos. O que pode ser bastante baixo para o milho utilizado na produção de etanol, mas somente para baixos volumes de produção. Se a produção de etanol a partir do milho atingir níveis acima de 0,3 quad, tanto o preço do milho como o de outros grãos nos EUA passariam a sofrer uma intensa pressão de alta. Se a produção de etanol a partir do milho atingisse 1,5 quads (o que equivale à produção atual de milho nos EUA), os mercados para os subprodutos estariam saturados. A níveis de produção ainda maiores, portanto não contando com a renda adicional provinda da venda de subprodutos, é improvável que seja possível a produção de etanol a partir do milho sem a ajuda de subsídios. Assim, embora a co-produção de etanol e de ração animal a partir de milho possa ser desejável a níveis baixos de produção, e prepare o caminho para a introdução de tecnologias referentes à transformação da biomassa em etanol, considerações econômicas indicam que o etanol produzido a partir do milho não pode substituir de forma significativa os combustíveis atualmente sendo utilizados em transporte(LYND et alii, 1991).

Para assegurar-se de que uma fonte de matéria-prima para fins energéticos esteja disponível a baixo custo, pesquisadores estão examinando culturas tidas como energéticas, tanto árvores como gramíneas, que aparentam ter altos rendimentos. Com um manejo adequado, os pesquisadores estimam que uma produção média de 2,45 bilhões de toneladas métricas de biomassa possa estar disponível nos Estados Unidos a cada ano para a sua conversão em biocombustível, fornecendo uma produção potencial de etanol igual a 1,02 trilhões de litros ou 207 bilhões de galões(NREL, 1994c).

Pesquisadores do National Renewable Energy Laboratory-NREL estão desenvolvendo catalizadores que podem produzir metanol e éteres de alta qualidade para a produção de gasolina reformulada. Os pesquisadores prevêem que o custo de produção de uma mistura de éter venha a ser de US\$ 0,95/galão ou US\$ 0,25 por litro. Com relação ao metanol o objetivo é atingir-se um custo de produção de US\$ 0,50 por galão ou US\$ 0,13 por litro, em dólares de 1990(NREL, 1994d).

Um combustível similar ao diesel, o biodiesel, também pode ser produzido a partir de duas fontes renováveis: “microalgal lipids⁹” e óleos vegetais. Os cientistas do NREL estão estudando formas de se aumentar a produção de “microalgal lipid” e investigando processos para a sua conversão em biodiesel. Nos últimos dez anos eles conseguiram reduzir as estimativas do custo de produção de biodiesel a partir deste material de US\$ 4,76/litro para US\$ 0,92/litro. Espera-se que melhoramentos adicionais venham a reduzir ainda mais os custos até um valor competitivo de US\$ 0,26/litro, em dólares de 1990(NREL, 1994d).

Como o processo de conversão da hemicelulose para xilose apresenta-se relativamente sem grandes complicações, a ênfase continua na conversão biológica da xilose para etanol. A fermentação dos açúcares tipo xilose tem se apresentado como a mais desafiadora etapa no processo de conversão de biomassa para etanol. No passado, os esforços focaram-se num processo compreendendo dois estágios, o que requeria a conversão enzimática da xilose para xilulose, seguida da fermentação da xilulose para etanol. Este procedimento era utilizado porque se conheciam poucos organismos que eram capazes de fermentar diretamente a xilose. Porém, trabalhos recentes identificaram fermentos naturais e bactérias recombinantes -que foram alteradas por técnicas de engenharia genética- que podem fermentar diretamente a xilose para o etanol. O maior avanço conseguido até agora, neste sentido, foi obtido através do emprego de uma espécie recombinante da bactéria *E. coli*, desenvolvida recentemente. Esta melhoria no processo levou a um rendimento igual a 0,38 litros de etanol/kg de matéria-prima, a nível de laboratório, o que equivale a um custo para o produto igual US\$ 0,34/litro, em dólares de 1990(DOE, 1993).

Tendo selecionado um conjunto de tecnologias e as integrado, os pesquisadores do NREL empregam uma série de técnicas para analisar o processo resultante na produção de um certo biocombustível. Nos diferentes estágios ao longo do processo os pesquisadores analisam amostras para verificar sua concentração, qualidade, rendimento e para fechar os balanços de fluxo massa, energia, etc. Os pesquisadores, também, continuamente monitoram e fazem

⁹ Não encontrei tradução para o português.

experiências com as condições de operação, para desenvolver estratégias de controle do processo, otimizar o desempenho e diminuir o custo. Além disso, os pesquisadores fornecem dados para engenheiros de processos que realizam avaliações econômicas do processo de forma a identificar sinergias, elos fracos, subprodutos potencialmente valiosos, ao mesmo tempo que fazem estimativas do custo projetado de produção(NREL, 1994e).

Como uma etapa intermediária entre a pesquisa a nível de laboratório e o desenvolvimento da planta piloto, este procedimento de integração de tecnologias, na formação de um processo e na sua avaliação, gera resultados que ajudam a identificar os conjuntos de tecnologias com maior potencial para produção a nível comercial(NREL, 1994e).

Segundo NREL (1994d) o National Renewable Energy Laboratory-NREL é o principal laboratório dos Estados Unidos em pesquisa e desenvolvimento sobre produção de biocombustíveis. Localizado na cidade de Golden, Colorado, o laboratório é considerado pelo seu pessoal como a maior instituição científica no mundo voltada para o desenvolvimento de tecnologias de energias renováveis. O Programa de Biocombustíveis do NREL, financiado pela Biofuels Systems Division do Departamento de Energia dos EUA, realiza pesquisas sobre a conversão de biomassa para etanol, metanol, aditivos para gasolina reformulada e biodiesel(NREL, 1994d).

Quanto ao etanol, o objetivo de parcerias com indústrias, universidades e outros, é o de se desenvolver tecnologias para a produção de etanol a partir de biomassa a um custo que seja competitivo ao da gasolina por volta do ano 2000, sem o uso de incentivos fiscais. Avanços significativos já foram feitos ao se trazer a conversão da biomassa em etanol para a órbita das tecnologias factíveis e economicamente viáveis. Ao longo da última década o programa visando este objetivo já conseguiu reduzir o custo do etanol produzido a partir da conversão da biomassa de US\$ 0,95/litro para US\$ 0,34/litro, em dólares de 1990(NREL, 1994c). Ao se reduzir o custo de produção do etanol ainda mais, até alcançar, em dólares de 1990, US\$ 0,18/litro, segundo NREL (1994f), ele será competitivo com o custo da gasolina nas proximidades do ano 2000.

Integração de processo é um procedimento que pode verificar possíveis interações entre os estágios do processo, além disso, este procedimento pode identificar oportunidades para recuperar valiosos subprodutos e para reciclar vários materiais ou organismos, trazendo-os de volta ao processo. Reciclagem é particularmente importante no tocante à utilização de água no processo, para a manutenção de balanços apropriados. Subprodutos valiosos podem mostrar-se de fundamental importância para a viabilidade econômica de um processo e podem

ser bem diferentes do produto principal. Como o petróleo e o gás natural, a biomassa pode ser transformada em produtos químicos, plásticos e outros materiais, e em uma vasta variedade de combustíveis(NREL, 1994e).

A companhia New Energy Company of Indiana-NEC foi a primeira companhia a fechar um contrato tipo Cooperative Research and Development Agreements-CRADA com o NREL. A companhia NEC era a segunda maior companhia americana na fabricação de etanol, produzindo cerca de 265 milhões de litros de etanol por ano a partir do processo de moagem seca do milho, na sua fábrica em South Bend, Indiana(DOE, 1993).

Esta companhia e o NREL estavam contruindo, em conjunto, uma planta piloto para a conversão de fibra de milho em etanol, que estava orçada em um milhão de dólares. O grão de milho é formado por cerca de 10 por cento de fibra de celulose, se esta porção fosse convertida em etanol, segundo DOE (1993), a produtividade aumentaria dos atuais 2,55 galões/bushel para 3,3 galões/bushel. Ou seja, aquele texto afirma que haveria um aumento na produtividade do processo de conversão estimado em 29,4 por cento. Se isto realmente ocorrer, a produtividade do novo processo seria de cerca de 354,45 litros de etanol/m³ de milho, ou seja, mais de um terço do volume mensurável total de grãos de milho, que passasse pelo novo processo, seria transformado em etanol.

4.4.1.4 Produção de biomassa nos EUA para fins energéticos

O Programa para o Desenvolvimento de Matérias-Primas para Biocombustíveis, Biofuels Feedstock Development Program-BFDP, tem conduzido a pesquisa sobre a produção de biomassa nos Estados Unidos para a Biofuels System Division, do Departamento de Energia deste país, desde 1978. A missão da BFDP é desenvolver uma série de tecnologias relacionadas à produção de vários tipos de biomassa de forma que, a partir destas fontes, seja possível se produzir até 15 por cento da energia primária nos Estados Unidos. Os objetivos deste programa incluem desenvolvimento e implementação de tecnologias. As pesquisas sendo financiadas por este programa são direcionadas para a geração de sistemas de produção de biomassa para utilizações específicas -especialmente no campo energético- sistemas que sejam ao mesmo tempo ambientalmente limpos e economicamente viáveis(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Sistemas de suprimento de matérias-primas para fins específicos, Dedicated feedstock supply systems-DFSS, apresentam a capacidade de produzir uma vasta gama de variedades de biomassa para a produção de energia, fibras e produtos químicos. O conceito de DFSS une a produção de árvores e gramíneas selecionadas com os sistemas apropriados de colheita, estocagem e transporte até o local de consumo. Com tecnologia apropriada e com planejamento, o conceito de DFSS pode atingir altos padrões de qualidade ambiental em uma larga gama de tipos de solos passíveis de uso para plantações, incluindo aqueles sujeitos à erosão e alagamentos(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Quanto aos impactos ambientais, Lynd et alii (1991) afirmam que culturas perenes, ricas em celulose, para uso energético podem ser cultivadas em terras agrícolas marginais, com um risco de erosão muito menor do que o de culturas com colheitas anuais, como o milho, por exemplo. Na primeira situação, o risco potencial da presença de erosão pode ser limitado ao primeiro ou segundo ano, quando é feita a implantação da cultura perene. A expectativa de vida para as culturas energéticas herbáceas de alta produtividade, herbaceous high-productivity energy crops-HPECs, bem como para as gramíneas perenes, é incerta, mas se acredita que esteja numa faixa que atinja os 25 anos. Sistemas de produção que apresentem um maior tempo entre o plantio e o corte, ou colheita, podem ser utilizados em solos que apresentem maior erosão. Culturas energéticas com colheita anual poderiam ser cultivadas em solos de melhor qualidade e que apresentem menor taxa de erosão, talvez em um sistema rotativo juntamente com culturas alimentícias convencionais.

Ainda, exclusivamente sob o ponto de vista do meio ambiente, Lynd et alii (1991) afirmam que as informações de que eles dispõem sugerem que as culturas perenes ricas em celulose para uso energético são mais ambientalmente benignas do que as culturas convencionais plantadas em fileiras e que devem ser colhidas anualmente. Contudo, eles acreditam que mais experiências, com produção em larga escala, são necessárias para se confirmar as expectativas de que os problemas ambientais que devem acompanhar os sistemas de produção de biomassa de forma perene sejam pouco significantes.

As culturas energéticas que fornecem matéria-prima para os DFSS incluem as árvores de crescimento rápido, as gramíneas perenes e as gramíneas de colheita anual. Resultados experimentais dos testes de campo em áreas com moderada vocação para o cultivo agrícola geraram otimismo quanto à capacidade de produção de biomassa com estes tipos de culturas energéticas(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Deve ser observado neste ponto que os resultados obtidos nos experimentos sendo descritos, que ocorreram nos Estados Unidos, e que serão discriminados logo a seguir, são bastante bons, quando se leva em consideração as condições climáticas existentes naquele país. No Brasil, contudo, mesmo sem um manejo apropriado, é possível se obter boas médias de produtividade, especialmente em certas regiões, dadas as condições edafo-climáticas apropriadas. De acordo com Rosillo-Calle, Furtado & Hall (1994), as produtividades das plantações de pinho e eucalipto no Brasil variam enormemente, indo de 8 m³/hectare/ano, nos solos mais secos e pobres em nutrientes, até 70 m³/hectare/ano em plantações experimentais. Com a média variando entre 20 a 25 m³/hectare/ano. Com um potencial para se alcançar uma média de 40 a 55 m³/hectare/ano em muitas áreas.

Considerando-se que a produtividade da lenha no campo é usualmente medida em metros³ estéreos. Considerando-se que, de acordo com Medeiros (1993), a densidade aparente do metro³ estéreo de eucalipto é quase a 0,49tonelada/m³ estéreo. Considerando-se que, segundo Goldstein Jr. (1985), uma lenha com esta densidade aparente deva apresentar uma umidade média da ordem de 25 por cento, é possível se obter uma estimativa aproximada das maiores produtividades de biomassa, na base seca, obtidas a partir de plantações experimentais no Brasil. Adotando-se o valor fornecido por Rosill-Calle, Furtado & Hall (1992), de 70 m³/hectare/ano, e aplicando-se os fatores de transformação considerados neste parágrafo, obtém-se: $70 \times 0,49 \times 0,75 = 25,725$ ton na base seca/hectare ano. Ou seja, a estimativa é de que a maior produtividade obtida a partir de experimentos em florestas comerciais no Brasil esteja por volta de 25 toneladas de biomassa na base seca/hectare/por ano.

Conforme Ferrell, Wright & Cushman (1993) as experiências realizadas nos Estados Unidos, com a mesma finalidade, tiveram resultados promissores, conforme viu-se anteriormente neste texto. As informações fornecidas por estes autores estão, a seguir, descritas.

Tanto as árvores quanto as gramíneas, sob condições extremamente favoráveis de crescimento, produziram uma média anual variando entre 20 e 40 toneladas de matéria seca/hectare ano. O sorgo mostrou-se especialmente favorável ao crescimento na região Meio-Oeste. Híbridos entre a cana-de-açúcar e espécimes selvagens desta planta, que resultou no que se chamou de cana para energia, chegou a produzir 50 toneladas de matéria seca por hectare ano na Flórida. Estes experimentos demonstram que certas espécies vegetais tem potencial genético que lhes permite atingir taxas de crescimento extremamente altas(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Os dados apresentados por Ferrell, Wright & Cushman (1993) se referem a experimentos de campo onde a produção total é apresentada como matéria seca, não o sendo, contudo, em base seca. Admitindo-se, num cenário médio, que a umidade desta matéria seca seja de 25 por cento, como no Brasil, isto implica que para árvores e gramíneas os resultados estiveram entre 15 e 30 toneladas de biomassa na base seca/hectare/ano. Estes resultados são próximos dos apresentados no Brasil. Mas não foi feita uma análise econômica a este respeito.

No caso da cana para energia, desconhecendo o tipo de planta e uma possível taxa de umidade que a mesma possa apresentar após secagem natural, abstenho-me de fazer comparações com árvores ou a cana-de-açúcar no Brasil.

Segundo NREL (1994a), com a tecnologia disponível nos Estados Unidos, no momento, é possível obter-se de 2 a 5 vezes mais biomassa por acre a partir de florestas comerciais do que de florestas naturais¹⁰. Também, que nas cercanias do ano 2010 a seleção de espécies e a engenharia genética deverão tornar possível um aumento de 50 por cento na sua produtividade.

A quantidade de terra que pode ser utilizada no futuro para o cultivo de plantações energéticas é praticamente impossível de se prever. Esta quantidade dependerá em muito dos preços dos energéticos, da política agrícola, das oportunidades de exportação e dos resultados apresentados pelas pesquisas nas áreas das plantações para a produção de alimento e para a produção de energia. Nos Estados Unidos existe, no momento, a tendência da substituição de culturas alimentícias por culturas energéticas, mas em baixa escala (FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Segundo Lynd et alii (1991), um relatório lançado à época pelo Secretário da Agricultura dos Estados Unidos recomendava que o desenvolvimento de novos produtos agrícolas não alimentícios viesse a utilizar pelo menos 150 milhões de acres nos próximos 25 anos. Esta vasta área de terra agrícola dá uma indicação de que os tais problemas existentes no excesso de produção agrícola neste país devem continuar e, conforme Lynd et alii (1991), até mesmo piorar.

Mudanças na política agrícola e na de meio ambiente podem vir a afetar enormemente a lucratividade da produção de lavouras com finalidade energética. Reduções nos preços nos programas de suporte agrícola, acordos internacionais sobre produtos agrícolas e uma possível taxa sobre as emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis, são exemplos de mudanças

¹⁰Acredito que estes dados estejam se referindo ao "cultivo" de florestas naturais, na forma que tem sido usualmente denominada de sustentável.

políticas capazes de cooperarem para o aumento dos lucros advindos do cultivo de lavouras energéticas(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Segundo Ferrell, Wright & Cushman (1993) a efetivação da ligação entre os setores agrícola e de energia nos Estados Unidos, através da produção de eletricidade e de combustíveis líquidos provenientes de lavouras energéticas, tem múltiplos efeitos. Todos estes efeitos devem produzir suficiente estímulo para o desenvolvimento de políticas favoráveis à produção de lavouras energéticas.

Em 1993 a biomassa produzida nos Estados Unidos deveria ter um custo de produção igual a US\$ 2,00/GJ para ser competitiva em relação ao petróleo. Naquelas condições, a única forma que um proprietário de terras teria para obter tal custo de produção, sem subsídios, seria através da utilização de culturas energéticas altamente produtivas em terras agrícolas com baixo valor econômico. Existem locais com estas condições e, nestes locais, um custo real de produção variando entre US\$ 2,50 e US\$ 3,00 por GJ poderia ser obtido. Este custo permitiria ao agricultor a obtenção de uma taxa de retorno que cobriria as suas despesas com a compra da terra, os custos com a mão-de-obra, os investimentos com equipamentos, possíveis despesas com seguro, impostos, etc.(FERRELL, WRIGHT & CUSHMAN, 1993).

Indústrias novas no setor de energia vinculado ao uso de biomassa criarão empregos locais e elevarão o padrão econômico de vida das comunidades rurais. Estas companhias, conforme forem crescendo, trarão novos negócios e estimularão a economia de toda a região, segundo NREL (1994a).

Com a adoção das lavouras energéticas, parte do capital despendido na importação de petróleo poderá ser direcionado para o setor rural dos Estados Unidos. Haveria, então, mais dinheiro para ser empregado na construção de escolas, para pagar os departamentos de polícia, bem como os bombeiros, para construir bibliotecas, centros para a terceira idade, e até para ser utilizado nos demais serviços comunitários(NREL, 1994a).

Segundo este mesmo relatório, os benefícios não seriam apenas estes, pois todo o país se beneficiaria com a utilização de um combustível limpo e renovável produzido dentro dos Estados Unidos(NREL, 1994a).

Peculiarmente, os fazendeiros americanos ainda exportam cerca de 1/4 de toda a produção alimentícia do país. Este mercado de exportação, com avaliação entre 30 e 40 bilhões de dólares por ano, é aproximadamente igual as despesas anuais do país com a importação de petróleo(NREL, 1994a).

A produção agrícola americana dobrou entre 1950 e 1980. Contribuíram para tanto o emprego de fertilizantes químicos, de sementes selecionadas, de melhor maquinário agrícola, com a utilização de propriedades agrícolas maiores e um melhor controle de pragas. Atualmente podem ser alimentados cerca de quatro vezes mais seres humanos pelos fazendeiros americanos do que há cerca de 40 anos(NREL, 1994a).

Segundo NREL (1994a) é provável que esta tendência continue no próximo século. Com os fazendeiros americanos continuando a produzir quantidades abundantes de alimentos e de matéria-prima para ração animal. Eles deverão produzir com uma menor quantidade de terra agricultável do que aquela utilizada para estas finalidades hoje em dia.

Lynd et alii (1991) afirmam que o Secretário de Agricultura dos Estados Unidos estimava que cerca de 150 milhões de acres deveriam vir a ser utilizados nos próximos 25 anos para o cultivo de culturas não alimentícias. Em NREL (1994a) o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos estima que a quantidade de terra agricultável que deverá ser utilizada para o cultivo de lavouras energéticas nos Estados Unidos no século XXI é de cerca de 100 milhões de acres.

4.5 Produção de Etanol a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos Contendo Celulose

4.5.1 Introdução

Como foi visto, a lignocelulose é constituída basicamente de celulose, hemicelulose e lignina. Estes elementos estão presentes, em proporções variáveis, não apenas na biomassa, mas também em muitos de seus subprodutos. O papel reciclável, como as aparas de papel e os jornais velhos, tem sido especialmente estudado para a sua transformação em etanol. Tanto a hidrólise ácida como a enzimática são consideradas para tal finalidade. Neste segmento da tese, serão vistos três estudos a este respeito. O primeiro se refere apenas à fase de pré-tratamento do material contendo lignocelulose, com o objetivo de separá-la em celulose, hemicelulose e lignina, mas não considera a fase seguinte, a da hidrólise. Os demais estudos consideram todas

as etapas da produção de etanol a partir de resíduos, mas o único resíduo que estes dois outros estudos consideram é o papel reciclável.

4.5.2 Pré-Tratamento da Lignocelulose

São necessários processos para a separação da lignocelulose da biomassa em seus três componentes principais: a celulose, a hemicelulose e a lignina, antes que uma utilização otimizada possa ser obtida (HARRIS, 1977) e (WRIGHT, 1988).

Bukart (1993) descreve um tratamento pré-hidrólise, que será visto nos parágrafos a seguir.

Prepara-se um licor a ser adicionado à matéria-prima a ser tratada. Este licor é constituído por tri-etileno¹¹ glicol¹² ao qual ácido paratolueno sulfônico¹³, ou outro catalizador adequado, é adicionado. As condições de cozimento são acima de 120 °C e à pressão atmosférica. A matéria-prima é qualquer material que contenha lignocelulose, como papel reciclável, resíduos de madeira, árvores de pequeno valor comercial ou podas de árvores, caules de culturas de cereais, etc.

A matéria-prima é separada em três grupos principais, quais sejam: resíduos de papel, madeira sólida e caules de cereais. Ela é, então, cortada, fatiada em pequenos pedaços ou, através de alguma outra forma, se encontrar na forma de pequenos pedaços antes da etapa de cozimento.

A matéria-prima é impregnada com licor (usualmente a uma pressão entre 15 e 40 libras¹⁴ no caso da madeira sólida), após o que, o excesso de licor é drenado ou extraído sob pressão. A matéria resultante é aquecida entre 2 e 5 minutos por micro-ondas ou aquecedores de radio-frequência, então, é imediatamente resfriada pela adição de água até uma temperatura abaixo de 100 °C, tendo uma porção mínima de licor. Esta etapa impede a degradação da celulose e da hemicelulose e dissolve a lignina solubilizada.

¹¹O etileno é um hidrocarboneto olefínico formado pela combinação de dois átomos de carbono e quatro de hidrogênio.

¹²Designação genérica de substâncias orgânicas que encerram duas vezes a função álcool na molécula.

¹³O ácido sulfônico se caracteriza por conter o grupo monovalente SO_3OH .

¹⁴Uma libra de pressão (lb/in^2) equivale a $1,464 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$. Desta forma, 15 e 40 libras de pressão equivalem a $2,196 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e $5,856 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, ou seja, 2,167 e 5,779 pressões atmosféricas, respectivamente. Isto porque 1 atm é igual a $1,01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

O tempo e a temperatura de cozimento vão variar de acordo com a matéria-prima. A massa de polpa que sobra após o cozimento é, então, drenada. A seguir ela é lavada com etanol ou outro solvente com baixo ponto de ebulição para recuperar, basicamente, todo o licor. O etanol, então, é retirado do licor através de um processo de flasheamento a baixa pressão, sendo condensado e reutilizado. O licor resultante, contendo a lignina dissolvida, pode retornar aos tanques de armazenamento de licor. Ele pode ser reutilizado de 5 até 10 vezes no tratamento da matéria-prima virgem, antes que a lignina seja retirada através da adição de um ou dois volumes equivalentes de água. A água é, então, flasheada do licor à baixa pressão, após o que, o licor é novamente direcionado para tanques de armazenamento para ser novamente reutilizado. Noventa e cinco por cento ou mais do licor é recuperado desta maneira, e pode ser continuamente reciclado. A polpa resultante é lavada com água quente para separar a hemicelulose, que se solubiliza na água, da celulose. Desta forma, os três constituintes principais da lignocelulose podem ser separados com um alto índice de rendimento, conforme Burkart (1993).

Segundo Burkart (1993), este processo apresenta as seguintes vantagens:

- i) O mesmo licor serve para diferentes tipos de biomassa. O tempo e a temperatura de cozimento variam conforme o tipo da biomassa e da forma dos produtos finais;
- ii) O licor é quase todo recuperado e reciclado, com um nível de poluição do ar e da água bem baixo;
- iii) Plantas industriais operando com este processo podem vir a ser economicamente viáveis e localizadas próximas ou dentro do perímetro urbano, desde que em zoneamento apropriado;
- iv) A etapa de cozimento do processo é realizada à pressão atmosférica, desta forma a utilização de equipamentos de alta pressão não se faz necessária;
- v) O processo requer uma baixa quantidade do licor para a biomassa a ser tratada, dado que o licor excedente é drenado do material impregnado antes da etapa de cozimento.

Ainda de acordo com Burkart (1993), os três componentes da lignocelulose que foram separados por meio deste processo são: a celulose, a hemicelulose e a lignina, que também podem produzir os seguintes produtos com valor comercial:

Celulose: celulose microcristalina; plásticos; rayons; etanol e produtos químicos orgânicos. Hemicelulose: melaço para ração animal; furfural e plásticos. Lignina: conservantes de madeiras; fenol; plásticos; adesivos; combustíveis líquidos.

4.5.3 Produção de Etanol a Partir de Papel Presente em Lixo Urbano

O segundo estudo, considerado neste ítem da tese, é baseado em testes realizados em uma planta piloto para produção de etanol a partir de lixo urbano sólido selecionado. Este estudo foi realizado na Suécia e é descrito por Aspelin, Pihl & Regestad (1993) e por Aspelin, Pettersson & Pihl (1993). Os parágrafos seguintes são baseados em Aspelin, Pihl & Regestad (1993).

A Fundação Sueca para o Desenvolvimento do Uso de Etanol, Stiftelsen Svensk Etanolutveckling-SSEU, em outubro de 1989, delegou à companhia Chematur Engineering AB a tarefa de estudar as condições de uma possível produção de etanol a partir de lixo urbano doméstico na capital da Suécia.

O estudo foi baseado na utilização de uma instalação pré-existente, cuja finalidade era o processamento, a classificação e a separação de lixo urbano doméstico. A instalação situava-se fora da cidade de Estocolmo, e separava o papel presente no lixo. Este papel podia ser transformado em etanol.

O estudo de Aspelin, Pihl & Regestad (1993) apresenta, de acordo com os autores, o resultado de dois anos de testes na planta piloto na qual se produziu etanol através da hidrolização da fração de papel do lixo, através do uso de ácido clorídrico supersaturado.

As operações realizadas na planta piloto para a sua avaliação cobriram especialmente a fase da hidrolização do papel, assim como outros parâmetros chaves que podem afetar o rendimento dos açúcares fermentáveis. Analisou-se, também, aspectos da filtração mecânica da lignina e a recuperação do ácido, que é reciclado.

Após a separação do papel do restante do lixo, este papel recuperado apresentava as características particulares que estão expressas na tabela 4.3.

Considerando-se que a degradação da glicose é o parâmetro mais importante para o rendimento total do processo, foi estudado de que maneira esta taxa de degradação era influenciada pela combinação formada pela concentração do ácido e pela temperatura. Percebeu-se que a degradação é moderada mesmo após cerca de uma hora a um nível de temperatura próximo a 25 °C e a uma concentração de ácido igual a 45 por cento. O mesmo ocorre para um nível de temperatura igual a 60 °C e uma concentração de ácido igual a 30 por

cento. A degradação obviamente será acelerada para níveis mais altos de temperatura e para concentrações de ácido mais elevadas.

Tabela 4.3 Composição média da matéria-prima: o papel recuperado

COMPONENTE	PERCENTAGEM NA MATÉRIA SECA
Celulose	43
Hemicelulose	13
Lignina	16
Plásticos, etc	17
Outros componentes	11
TOTAL	100 %

Fonte: (ASPELIN, PIHL & REGESTAD, 1993)

As experiências realizadas conduziram Aspelin, Pihl & Regestad (1993) às seguintes principais indicações de como se hidrolizar papel proveniente de lixo sólido urbano através da utilização de ácido clorídrico:

- i) Agitar muito bem a mistura de papel picado e de ácido. A concentração de ácido deve ser ligeiramente acima de 40 por cento nesta fase. Após o uso do misturador, o papel ficará encharcado rapidamente em apenas 10 minutos e a uma temperatura de 30 °C.
- ii) A seguir deve-se reduzir a concentração do ácido clorídrico para 30 por cento.
- iii) Após a redução da concentração do gás, deve-se aquecer a mistura a uma temperatura de aproximadamente 60 °C, e mantê-la nesta temperatura por um período de tempo compreendido entre 30 e 60 minutos. Assim, não somente a celulose será mais facilmente descristalizada e transformada em oligômeros¹⁵ menores de glicose, mas, também, a filtragem fina terá a sua velocidade aumentada.

Após a filtragem fina o ácido deve ser recuperado através da evaporação. Os oligômeros presentes no recipiente após a evaporação são novamente hidrolizados, num

¹⁵Oligômeros de glicose são cadeias de glicose que apresentam poucas unidades componentes, de 4 a 5 até cerca de dez unidades de glicose. Cadeias maiores são usualmente denominadas de polímeros.

processo que ocorre num ambiente em que há a redução da concentração do ácido restante a valores muito baixos pela adição de água.

Neste ambiente o caldo é aquecido durante cerca de uma hora a uma temperatura compreendida numa faixa que vai de 100 a 120 °C. Os açúcares fermentáveis, então formados, terão uma concentração conveniente para um processo contínuo de fermentação e destilação para a produção de etanol.

O segundo artigo sobre este mesmo experimento realizado na Suécia, escrito por Aspelin, Pettersson & Pihl (1993), fornece os parâmetros básicos para o funcionamento da planta de etanol. Eles estão indicados nas tabelas 4.4 e 4.5, a seguir:

Tabela 4.4 Insumos e produtos básicos da planta de etanol

INSUMOS	PRODUTOS
Papel (4,68 tons/h - 95% "DS" ¹⁶)	Lignina (2,67 tons/h - 30% "DS")
Água (9,7 tons/h)	Etanol (1,04 tons/h) c/ 5% de água em peso

Fonte: (ASPELIN, PETTERSSON & PIHL, 1993)

Tabela 4.5 Balanço de matéria-prima e energia para a produção de 1 litro de etanol

RESÍDUO SÓLIDO	PRODUTOS QUÍMICOS	UTILITÁRIOS
Papel (3,56 kg)	NaOH (0,04 kg)	Vapor (14,8 kg ou 10kWh)
	HCl (0,48 kg)*	Eletricidade (0,43 kWh)
	NH ₃ (7 g)	Água (7,57 kg)
	H ₃ PO ₄ (3g)	
	H ₂ SO ₄ (0,8g)	
	Anti floculante (2 g)	
	Carbonato de cálcio	

Fonte: (ASPELIN, PETTERSSON & PIHL, 1993)

* Acredito que esta seja a quantidade de ácido clorídrico adicionada ao processo, mas que aí não esteja contabilizada a parcela do mesmo que é reciclada. Do contrário, fica quase absurdo

¹⁶ Não foi possível se encontrar a tradução da sigla "DS" em dicionários comuns, provavelmente ela significa "dry solids".

imaginar um processo que utilize cerca de meio quilo de ácido clorídrico para produzir cerca de 0,8 kg¹⁷ de etanol, além de todos os outros insumos.

4.5.4 Produção de Etanol a Partir de Papel Reciclável (de Escritório)

No terceiro estudo desta parte da tese, nos reportamos ao Canadá, onde desde 1981 o governo da província de Ontário tem financiado pesquisas sobre a transformação de madeira em etanol. Os parágrafos a seguir, baseados em Greven & Yu (1993), relatam as experiências de Ontário nesta linha de pesquisa.

O plano original compreendia a utilização de madeira e de resíduos da agroindústria madeireira como matéria-prima. Embora novas e mais simples tecnologias tivessem sido desenvolvidas, a produção de etanol a partir de madeira não podia ser realizada a um custo inferior ao do etanol produzido a partir do milho. Em 1988, financiou-se pesquisas desenvolvidas na companhia Stake Technology, que tinham a finalidade de investigar o uso potencial de vários resíduos agrícolas como matéria-prima para a produção de etanol. Apesar dos bons resultados técnicos alcançados, a produção continuava bastante anti-econômica, devido ao alto custo da matéria-prima.

Nos últimos anos, a utilização de resíduos de papel parece ser a solução econômica para a produção de etanol a partir da celulose. A comparação entre os vários projetos mostrou que existe uma vantagem para o método pesquisado pela companhia Stake, que consiste na explosão contínua por vapor, seguida da hidrólise enzimática.

Em 1990, a Secretária de Energia da província de Ontário foi procurada por duas organizações que lhe pediam assistência financeira para estudar técnica e economicamente o processo de produção de etanol a partir de resíduos de papel.

A companhia Biohol, uma joint venture entre as companhias George Weston Limited e St. Lawrence Reactors, propôs a utilização de um processo de hidrólise ácida precedida por uma etapa de extração de água, levada a efeito em um equipamento Wenger de extrusão.

Bem como a companhia Stake Technology, que prosseguiria os seus estudos acerca do processo por explosão por vapor, seguido pela hidrólise por enzimas.

¹⁷A massa específica do etanol com um teor em peso de água igual a 5 por cento é aproximadamente igual a 0,8 kg/litro (SINÍCIO, 1992).

Estas companhias concordaram em dividir o resultados de suas pesquisas e de trabalharem a partir de uma mesma fonte de papel reciclável. Papel semi-processado, depois da fase de pré-tratamento, foi trocado entre as duas companhias, de forma a permitir a comparação entre estes quatro diferentes conceitos de processamento.

Nos experimentos realizados na companhia Biohol a hidrólise ácida mostrou-se incapaz de atingir taxas de conversão de celulose que haviam sido obtidas anteriormente, quando da utilização de cavacos de pinho como matéria-prima. A quantidade de ácido utilizada foi muito maior do que a prevista. A maior conversão de celulose para glicose foi de 25 por cento, com a utilização de diferentes tipos de ácidos e a concentrações variáveis. A utilização do processo de explosão da matéria-prima por vapor não melhorou o rendimento. A companhia Biohol concluiu que o seu conceito da utilização de hidrólise em uma fase, por meio da utilização de soluções contendo ácidos diluídos, não era economicamente factível na conversão de uma mistura contendo vários tipos de papéis passíveis de reciclagem.

Os trabalhos levados a cabo pela companhia Stake Tech chegaram a melhores resultados. O sistema de explosão por vapor, seguido pela hidrólise enzimática, foi mais favorável, segundo Yu, Clarke & D'Agostino (1992). Continuando com as observações de Greven & Yu (1993), estes autores afirmam que após os resultados obtidos em escala de laboratório, a companhia Stake Technology instalou uma planta piloto na qual utilizava seu reator para explosão da matéria-prima por vapor. O reator tinha uma capacidade de processamento de 4 toneladas por hora.

O processamento da matéria-prima por explosão por vapor levou a rendimentos superiores a 18 por cento, em relação àqueles obtidos através do extrusor Wenger, utilizando-se do mesmo sistema de enzimas. A fermentação por batelada do material após a hidrólise, com a utilização dos fermentos *Saccharomyces cerevisiae* e *Pachysolen tannophilus*, resultou em um rendimento máximo de 350 litros de etanol a 95 por cento, em peso, por tonelada de uma mistura de vários tipos de papéis recicláveis de escritório. Uma planta de tamanho médio poderia ser economicamente viável se o litro de álcool fosse vendido a 0,40 centavos de dólares canadenses (aproximadamente igual a US\$ 0,31/litro¹⁸), se houvesse um subsídio de 50 dólares canadenses por tonelada (aproximadamente igual a US\$ 39,06/tonelada)(GREVEN & YU, 1993).

A primeira observação a ser feita sobre o resultados destes estudos realizados no Canadá, e apresentados por Greven & Yu (1993), é que o contexto no qual eles se realizam é

¹⁸Em junho de 1993 um dólar americano estava valendo 1,28 dólares canadenses (THE ECONOMIST, 1994)

bem diverso do brasileiro. Parecem ser a continuação de estudos exploratórios prévios sobre a utilização de outras fontes de matéria-prima, ao invés do milho, para a produção de etanol. A segunda observação é sobre a matéria-prima utilizada, o papel reciclável. Uma substituição significativa, em termos de volume de gasolina por etanol produzido a partir de papel reciclável, pode ser praticamente desconsiderada. Porém, para o meio ambiente, a utilização daquilo que de outra forma poderia ser considerado como lixo -e, portanto, levado a ocupar e a poluir espaços possivelmente próximos às áreas urbanas- para a produção, sob certas circunstâncias, de um combustível reconhecidamente menos poluente que a gasolina, é uma benesse.

Contudo, sob o ponto de vista econômico o custo projetado de produção de etanol que foi apresentado neste projeto canadense ainda é ligeiramente maior que o da produção de etanol a partir de milho nos EUA (entre os anos de 90 e 92, vários autores estimam que o custo de produção do álcool anidro nos EUA, como já foi citado nesta tese, foi por volta de US\$ 0,30/litro). O etanol produzido neste projeto no Canadá tem a graduação alcoólica, em °GL, próxima à do álcool hidratado, o qual deve ter um teor alcoólico mínimo igual a 95,96 °GL. A densidade do álcool canadense sendo analisado é de aproximadamente 0,80 kg/litro. Desta forma, uma tonelada do etanol canadense equivale a aproximadamente 1250 litros de álcool hidratado.

Considerando-se a planta hipotética de tamanho médio proposta por Greven e Yu (1993), o custo final projetado do litro de álcool hidratado produzido por esta planta pode ser calculado, com base nos dados anteriores, pela expressão a seguir:

$$\text{US\$ } 0,31/\text{litro (preço de venda)} + \text{US\$ } 39,06/1250 \text{ litros (subsídio)} = \text{US\$ } 0,34/\text{litro}$$

Ou seja, o custo projetado de produção de etanol pela planta de tamanho médio seria igual a US\$ 0,34/litro de álcool similar ao álcool hidratado brasileiro.

É importante se fazer a observação de que o álcool a ser produzido seria do tipo hidratado e não anidro. Consequentemente não poderia ser adicionado à gasolina em substituição ao chumbo. Da mesma forma não poderia elevar o número de octanas da gasolina e, finalmente, não forneceria à gasolina aquela ligeira eficiência térmica adicional que ela adquire quando aditivada com álcool anidro. Contudo, a transformação de uma instalação que produza álcool hidratado para a produção de álcool anidro pode ser feita sem enormes investimentos, com relação ao capital fixo total de uma planta para a produção de etanol(SINICIO, 1992).

O álcool hidratado canadense não tem um custo projetado de produção elevado ao considerar-se, por exemplo, que em abril de 1996 o preço do litro de álcool hidratado em qualquer parte do território brasileiro era oferecido ao consumidor final por um preço, na bomba de gasolina, superior a US\$ 0,50/litro. A questão dos impostos e subsídios, como já se observou em capítulos anteriores, é muitas vezes fundamental para a introdução de um novo combustível.

O custo projetado deste álcool no Canadá é, também, praticamente equivalente ao custo projetado de produção que foi conseguido pelo vasto programa financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos para a produção de etanol, álcool anidro, a partir da biomassa. Conforme foi visto anteriormente, o custo projetado por este programa do Departamento de energia dos EUA era igual a US\$ 0,34/litro de etanol. É importante observar-se que o uso de etanol hidratado em automotores nos EUA é mínimo, em comparação ao uso do álcool anidro naquele país.

A principal causa deste baixo custo projetado de produção de etanol no Canadá, ainda mais quando se considera os pequenos investimentos feitos em pesquisa e desenvolvimento nesta área naquele país, deve-se, provavelmente, ao baixo custo da matéria-prima: o papel reciclável. Que ainda é considerado por muitos como lixo e, conseqüentemente, sem valor econômico.

Greven & Yu (1993) ainda descrevem em seu artigo os planos para o futuro. Afirmando que baseados nos resultados favoráveis observados, um consórcio entre o governo de Ontário e a indústria foi formado para se custear, conjuntamente, uma continuação dos estudos a respeito da viabilidade da construção de uma planta de tamanho médio de etanol, produzido a partir de papel reciclável, no Bruce Energy Center, Ontário.

Porém, com relação ao custo de produção de etanol à partir de papel reciclável, em comparação com o seu custo de produção à partir do milho, as perspectivas não parecem ser muito promissoras para o primeiro nos EUA. A seguinte notícia, veiculada no Jornal da Rede Globo de Televisão, em 18 de outubro de 1995, à noite, nos informou: *Começou nesta semana a comercialização de jornais velhos, plásticos usados e vidros quebrados na Bolsa de Chicago. A Bolsa de Chicago é a maior bolsa de commodities, ou de mercadorias, do mundo. No início da semana 100 toneladas de papel velho foram comercializadas a US\$ 9000,00. A cotação atual da tonelada de jornal velho é US\$ 100,00, aproximadamente o mesmo preço de uma tonelada de milho. O mercado do lixo movimenta de 4 a 6 bilhões de dólares por ano nos Estados Unidos.*

4.6 Conclusões

A possibilidade de produção de etanol a partir da biomassa é uma realidade. Os custos estimados de produção de etanol a partir da biomassa nos Estados Unidos são próximos aos custos de produção de etanol no Brasil quando não se considera os impostos que são cobrados sobre o álcool vendido ao governo.

O custo de produção de etanol no Canadá a partir de papel reciclável está, também, situado na mesma faixa do custo estimado de produção de etanol a partir de biomassa nos EUA.

A produção de etanol na Suécia, a partir de papel, não representa uma novidade, mas os seus custos de produção não foram apropriadamente divulgados.

Levando-se tudo em conta, no médio e no longo prazos, a produção de etanol estava garantida frente à necessidade de, cedo ou tarde, terem-se os preços do petróleo elevados.

O único senão nesta história é a presença segura e a preços módicos do gás natural em determinadas regiões, ou os assim chamados blocos econômicos do globo.

Considerando-se as demais alternativas, pesa a favor da produção de etanol a partir da biomassa a argumentação ambiental, especialmente no médio prazo e nas grandes áreas metropolitanas, dada a sua participação positiva no combate ao assim chamado efeito estufa e na diminuição da poluição urbana.

O mais provável é que no futuro haverá um pool de combustíveis substituindo o petróleo em suas várias aplicações, considerando-se as características próprias de cada local do globo.

CAPÍTULO 5

TECNOLOGIAS RELATIVAS À UTILIZAÇÃO DO ETANOL COMO CARBURANTE SENDO DESENVOLVIDAS NO CENÁRIO INTERNACIONAL

5.1 Introdução

Este capítulo se inicia com a apresentação de uma interessante sequência de experiências realizadas nos Estados Unidos com relação à utilização de etanol em motores de pequenas aeronaves. Estas experiências têm sido bem sucedidas e, contando com o apoio oficial das agências responsáveis dos EUA, notadamente a FAA, como será visto a seguir, poderão se tornar viáveis a nível comercial a médio prazo.

O segundo e principal tópico deste capítulo se relaciona com a utilização de etanol em motores diesel. Descreve-se mais detalhadamente as experiências que estão sendo realizadas nos EUA, na Suécia e na Índia. O objeto de estudo é muito vasto e apresenta muitas nuances. De modo geral, pode-se afirmar que, embora estas experiências já estejam bem adiantadas do ponto de vista tecnológico, ainda faltam alguns ligeiros ajustes finais para que frotas de veículos a ignição por compressão possam operar com etanol. Do ponto de vista econômico, como será visto adiante, a história tem sido outra. Mas justificativas de ordem ambiental também têm sido consideradas nestas experiências.

Neste capítulo é feita, também, uma breve comparação entre o porquê da adoção do MTBE ou do ETBE na composição da gasolina reformulada. As fontes pesquisadas permitiram que se fizesse uma análise sucinta porém expressiva das vantagens e desvantagens, sob o ponto de vista dos refinadores americanos, de se adotar ou um ou outro aditivo. Não se fez, porém, nenhuma análise sob o ponto de vista da saúde pública com relação ao emprego destes dois aditivos oxigenantes da gasolina.

A seguir, são apresentadas experiências com veículos que podem ser movimentados com vários combustíveis, os Veículos a Múltiplos Combustíveis-VMCs.

5.2 Uso de Etanol como Combustível em Aeronaves

Nos últimos anos a pesquisa do uso de etanol como combustível para utilização em aeronaves vem tendo grande destaque na Universidade de Baylor, nos EUA. Num processo que se iniciou na década de oitenta, com as primeiras tentativas de se licenciar junto ao governo americano o uso de etanol em uma aeronave, passando pelo primeiro voo sobre o Oceano Atlântico com uma aeronave movida a etanol, até o licenciamento de vários tipos de aeronaves, já recentemente, além de pesquisas visando o desenvolvimento de motores de aeronaves próprios para o uso de etanol como combustível, há uma história de passado recente que merece ser analisada.

Nos EUA, para que uma aeronave possa ser licenciada para uso civil em escala comercial ela deve receber a aprovação do governo americano para operar num determinado tipo de categoria. No caso do uso de um novo combustível, tanto o motor como a aeronave propriamente dita devem receber tal aprovação da Federal Aviation Administration-FAA, através de um certificado denominado Supplemental Type Certificate-STC(SHAUCK & ZANIN, 1991a).

Uma aplicação para a obtenção do certificado STC foi submetida à FAA para se poder operar uma aeronave tipo Lycoming IO-540, com um motor movido inicialmente a álcool anidro e gasolina sem chumbo, o combustível E95, contendo 95 por cento de álcool anidro e 5 por cento de gasolina. Após várias reuniões com os técnicos da FAA escolheu-se a norma 33 de seu regulamento para a realização dos testes de certificação(SHAUCK & ZANIN, 1991a).

Um teste consistiu no funcionamento do motor durante 150 horas obedecendo a normas de operação como o controle da potência fornecida pelo motor, da temperatura de funcionamento, etc. Antes deste teste o motor havia sido desmontado para se analisar o estado geral das peças devido ao uso anterior com o novo combustível. Remontado e instalado em uma bancada padrão de testes, vários parâmetros foram medidos e gravados para análise posterior. Após este teste de desempenho nas condições estabelecidas pela norma, foram efetuados, ainda, testes de operação à potência máxima e testes de detonação. A seguir, o

motor foi novamente desmontado para nova inspeção. Como resultado dos testes, todas as exigências da FAA foram atingidas ou suplantadas. O certificado STC foi obtido em 12 de março de 1990.

A tecnologia do uso de etanol em aviação já está madura. Ela propicia um performance superior a um custo menor. Pode-se mencionar, ainda, algumas outras vantagens deste uso do etanol: ele é um combustível renovável, ambientalmente interessante e pode ser obtido no interiormente, de forma independente das reservas petrolíferas do Oriente Médio (SHAUCK & ZANIN, 1991b).

Não há dúvidas que, após as modificações introduzidas tanto no motor quanto na aeronave, provou-se a viabilidade técnica do uso de álcool anidro como substituto de gasolina para aviação nos Estados Unidos. Contudo, Shauck e Zanin (1991b) não se referem ao custo da transformação do avião e do motor para operarem com etanol.

Mas sejam lá quais tenham sido tais custos e mesmo considerando-se que era apenas um protótipo transformado a partir de um avião e de um motor convencionais para aviação, o certo é que os resultados obtidos levaram à obtenção de verbas para a expansão do projeto, como veremos nos parágrafos a seguir, que se baseiam em Shauck & Zanin (1993).

A eliminação do chumbo dos combustíveis, de acordo com a legislação do Clean Air Act, tem causado grande preocupação na indústria de aviação. O combustível padrão, uma gasolina para aviação com baixo nível de chumbo e 100 octanas, deverá ser substituído por um combustível com no mínimo 98 octanas no motor, de acordo com as recomendações da General Aviation Manufacturers Association. Diferentes tentativas têm sido feitas de forma a se produzir um combustível compatível com estas recomendações, mas, até agora, nenhuma das soluções propostas têm sido aceitáveis, quer seja por um nível inadequado de octanas, pelo excesso de emissões ou pelo alto custo.

O projeto de 13 anos da Universidade de Baylor provou que 100 por cento de álcool anidro é o combustível ideal para substituir a gasolina de aviação com baixo nível de chumbo e com 100 octanas (SHAUCK & ZANIN, 1993).

Pesquisas e testes provaram que a eficiência de motores a gasolina, modificados para operarem com etanol, pode ser consideravelmente melhorada por modificações adicionais, tais como o aumento da taxa de compressão do motor ou mudanças no tempo de ignição. São necessárias, contudo, pesquisas adicionais no desenvolvimento e implementação destas modificações, assim como a fabricação de um motor especialmente projetado para operar com etanol. Ao mesmo tempo, para se efetivar o uso do etanol como um combustível para aviação,

aeronaves movidas com este combustível devem estar fazendo parte do mercado tão logo quanto possível e o certificado da FAA é um requisito necessário para que uma aeronave possa entrar em operação comercial. Além disso, de forma a assegurar a aceitação do novo combustível, programas educacionais e de demonstração da confiabilidade do etanol como combustível para aviação devem ser realizados. Estes três principais direcionamentos: pesquisa e desenvolvimento; obtenção de certificados para motores e aeronaves; bem como a educação do público no que se refere à questão do uso do etanol como combustível para aviação, devem, os três, serem conduzidos paralelamente.

O que levou ao início da pesquisa e desenvolvimento do etanol como um combustível para aviação na Universidade de Baylor, há treze anos atrás, foi a possibilidade de interrupções no fornecimento de petróleo devido a instabilidades políticas no Oriente Médio. Como resultado deste esforço de mais de uma década, seis diferentes aeronaves foram modificadas para funcionarem com etanol. Duas séries de motores para aeronaves receberam o certificado para operarem com etanol da Federal Aviation Administration-FAA. Três aeronaves estavam em 1993 em processo de obterem o certificado da FAA para funcionarem movidas a etanol em operações comerciais (SHAUCK & ZANIN, 1993).

No início de 1991, o Centro para Pesquisa e Desenvolvimento do Etanol como Combustível para Aviação foi fundado dentro do Departamento de Ciências da Aviação da Universidade de Baylor.

Desde o início os objetivos traçados pelo Centro têm sido atingidos conforme o planejado. Os resultados dos testes têm alcançado ou superado as expectativas e a resposta por parte do público relacionado à aviação em geral, e especialmente entre as comunidades agrícolas, tem sido excelentes. Apesar do fato das atuais modificações terem se mostrado seguras, confiáveis, levando a uma performance superior e serem economicamente competitivas, ainda falta muito a ser feito nesta área. Contudo, o serviço burocrático de obter certificações por parte da FAA deve continuar, de forma a assegurar que o etanol seja aprovado no seu campo final de provas: o mercado. Um programa dirigido ao mercado consumidor em potencial, aos oficiais de governo a níveis estaduais e federal, assim como aos executivos da indústria privada é um componente necessário do esforço para se conseguir a aceitação deste combustível produzido no próprio país, que apresenta alta performance e economicidade: o etanol aplicado à aviação (SHAUCK & ZANIN, 1993).

Considerando-se que o etanol para uso na aviação apresente todas as vantagens descritas por Shauck e Zanin em seus estudos, a criação de postos de abastecimento para o

combustível ao longo dos Estados Unidos, assim como o desenvolvimento de um motor próprio para operar com este tipo de combustível, sem dúvida revolucionariam o mercado de combustível para aviões de pequeno porte naquele país. O recente apoio à produção e uso de etanol nos EUA, por parte do governo federal daquele país, conforme comentado no capítulo 2 desta tese, leva a crer que são grandes as possibilidades do uso de etanol na aviação ser levado adiante. Resta agora, contudo, esperar a resposta da iniciativa privada, que está premida pelas novas normas e regulamentações governamentais.

Um estudo a respeito deste assunto com relação ao mercado brasileiro não deixaria de ser interessante, especialmente num cenário de preços do petróleo em alta.

5.3 O Uso do Etanol em Motores Diesel

Além do Brasil existem alguns outros países que têm se dedicado à possível utilização de etanol em motores que operam segundo o ciclo diesel. Na Suécia, na Índia e principalmente nos Estados Unidos da América já existem programas estabelecidos com esta finalidade. Alguns contam com um amplo apoio do governo e a participação de empresas privadas, centros de pesquisa, e universidades. Estes programas vêm se desenvolvendo desde a década de oitenta e, ao contrário do que alguém mais desavisado poderia esperar, estão se firmando cada vez mais, tornando-se o etanol, e, mais intensamente, o metanol, devido ao seu custo mais reduzido, alternativas para óleo diesel. Na França e no Canadá já existem, também, experiências de campo com o uso de etanol em motores de ciclo diesel, notadamente no setor de transporte público, embora em escala bem menor.

Além dos países que já possuem programas com a finalidade de capacitá-los para uma eventual maior substituição do óleo diesel por álcool em suas frotas de ônibus e caminhões que operam com motores diesel, há outros países que têm feito pesquisas nesta área, como são os casos da Coreia, da África do Sul, do Reino Unido, etc.

Como o etanol, devido às suas propriedades físico-químicas, não é um combustível compatível com um motor construído para operar por ignição por compressão, há que se utilizar uma das duas alternativas clássicas para se resolver este problema: ou se alteram as propriedades do etanol, com o uso de aditivos, ou se fazem alterações no motor. Estas duas alterações são, devido a sua própria natureza, diametralmente opostas. A análise da forma

como os diversos países considerados têm lidado com este e outros fatores técnicos ligados ao uso do etanol em motores diesel, aliado a considerações de ordem ambiental, econômica, estratégica, etc, quiza permita definir alguns aspectos que indiquem uma possível trilha a ser seguida no caso do Brasil optar pela instalação de um programa de substituição de óleo diesel por etanol, quer seja num futuro próximo, ou, talvez, mais distante, quando, então, seria possível obter mais dados com relação a este tipo de tecnologia.

5.3.1 O Emprego de Etanol em Motores Diesel nos EUA

A qualidade do ar tornou-se uma grande preocupação em muitas áreas dos Estados Unidos. O setor de transporte é um dos maiores responsáveis pela poluição da atmosfera a partir da queima de combustíveis convencionais, hidrocarbonetos derivados do petróleo, em motores de combustão interna. Dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos não queimados ou parcialmente queimados e fumaça negra de particulados são emitidos em grandes quantidades pelos veículos todos os anos. Os dois principais combustíveis utilizados no setor de transportes são o óleo diesel e a gasolina. O óleo diesel, utilizado em veículos pesados, como caminhões e tratores, bem como em ônibus urbanos, emite altos níveis de dióxido de carbono e de fumaça negra cheia de particulados. Esta fumaça negra é especialmente danosa ao ser humano e tem sido acusada de causar cancer. Estes fatos, por si mesmos, justificam a necessidade de se testar, desenvolver e expandir o uso de combustíveis alternativos que não apresentem tantos resíduos após a sua queima, de forma a melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas(MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993).

O programa do uso de etanol em motores diesel nos EUA pode-se dizer que se insere em três outros programas. O primeiro seria o do uso do álcool em motores diesel, uma vez que naquele país o álcool mais utilizado como combustível é o metanol e não o etanol, sendo que a tecnologia utilizada tanto para motores diesel movidos a metanol quanto para etanol são bastante semelhantes. O segundo seria o uso de combustíveis alternativos, de uma forma geral, em motores diesel e, neste caso, há que se incluir necessariamente o uso do gás natural e do gás liquefeito de petróleo. Finalmente, no setor de transportes, deve-se considerar o uso de

fontes alternativas de energia tanto em ônibus e caminhões como em veículos de menor porte, quando se incluiria além dos combustíveis já citados a energia elétrica, a energia solar, etc.

No momento, além da questão ambiental propriamente dita, da economia de divisas na balança externa de pagamentos com a produção interna de um combustível e da opção pela manutenção da mão-de-obra no campo que anteriormente era utilizada para a produção de alimentos subsidiados, também a questão da segurança nacional, através de uma maior independência com relação à importação de petróleo de zonas politicamente instáveis fica patente mesmo em relatórios científicos produzidos naquele país.

Os maiores agentes responsáveis pela introdução do uso de etanol em motores diesel nos EUA, como será visto mais detalhadamente adiante, são: a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos-EPA, responsável pela legislação ambiental que incentiva o uso de etanol em ônibus e caminhões; a companhia Detroit Diesel Corporation-DDC, maior fabricante de motores diesel para ônibus nos EUA; o governo federal através do Departamento de Energia-DOE; e os produtores de etanol a partir de milho naquele país. Mas, além destes, há uma série de outros agentes que contribuem para a difusão do uso do etanol nos EUA.

Mais de 4000 veículos alternativos operavam em 1993 em frotas nos Estados Unidos, e estavam sendo avaliados pelo Departamento de Energia. Estes veículos incluíam uma larga variedade de tipos e combustíveis(WARES & KRENELKA, 1993).

O “Programa de Combustíveis Alternativos para a Operação Comercial de Veículos Pesados” iniciou-se sob os auspícios da Lei para Motores a Combustíveis Alternativos-AMFA, de 1988. O objetivo deste programa é estudar o uso de combustíveis alternativos em veículos com motores pesados. A Divisão de Combustíveis Alternativos do DOE estava co-patrocinando um programa nacional neste sentido, que, até 1993, abrangia 158 veículos com motores pesados movidos a combustíveis alternativos. Um elemento chave deste programa é a obtenção de dados. O programa também estava coletando dados de outros 323 veículos com motores pesados movidos a combustível alternativo que estavam em operação sob patrocínio exclusivo da iniciativa privada(GOGUEN & MCCALLUM, 1993).

Em um esforço correlato, o Departamento de Energia também estava financiando cerca de 150 ônibus escolares movidos a combustíveis alternativos, bem como veículos pesados utilizados por prefeituras ao longo do país(GOGUEN & MCCALLUM, 1993).

Desde que o AMFA foi aprovado em 1988, diversas outras leis e regulamentações também foram aprovadas. Dentre estas, as leis patrocinadas pela EPA, que tem o propósito de aumentar a segurança nacional na área energética através de um aumento no uso de combustíveis alternativos e no aumento da eficiência no uso de energia(GOGUEN & MCCALLUM, 1993).

Consonante com os objetivos do Programa, buscou-se o envolvimento de um grande número de fabricantes de motores para veículos pesados, como a Detroit Diesel Corporation, a Caterpillar, a Cummins, a Hercules e a Tecogen. Além disso, buscou-se a utilização de vários combustíveis alternativos, assim como a distribuição da frota por várias partes do país(GOGUEN & MCCALLUM, 1993).

A tabela 5.1 indica a frota de caminhões com motores pesados que era co-financiada e/ou monitorada pelo DOE até 1993. A tabela 5.2 mostra a frota de ônibus escolares que era co-financiada e monitorada pelo programa do Departamento de Energia no mesmo ano. O Laboratório Nacional de Energias Renováveis, NREL, ligado ao DOE, era o responsável pela análise dos dados coletados pelo programa, através de seu Centro de Dados para Combustíveis Alternativos.

Os dados coletados através deste programa do DOE são postos à disposição dos usuários e possíveis usuários de tecnologias para veículos movidos a combustíveis alternativos de forma que eles possam tomar suas decisões. Os dados de custo e performance são críticos para um operador de frota que esteja decidindo se passa ou não a adotar este tipo de tecnologia, ou que já esteja decidindo por qual das tecnologias de combustíveis alternativos existentes ele pretende optar. A existência deste tipo de banco de dados, com ênfase no fator confiabilidade, é uma questão chave para inspirar confiança entre as companhias que operam frotas de veículos pesados, estejam eles já operando ou não com veículos a combustível alternativo.

Uma observação importante a ser feita em relação aos dois programas co-financiados pelo DOE é a grande participação do gás natural como combustível alternativo, especialmente no programa de ônibus escolares, no qual aparece apenas o metanol como álcool carburante. Uma outra informação interessante, que pode ser extraída da tabela 5.1, é que todos os operadores de frota que estão operando com o etanol como combustível alternativo, no programa vinculado ao DOE, têm operado os seus caminhões com motores produzidos pela Detroit Diesel Corporation-DDC. Segundo Bechtold, Timbario e Miller (1991): "Os motores diesel de dois tempos da Detroit Diesel Corporation são os motores utilizados em mais de 90

por cento de todos os ônibus de passageiros para trânsito urbano nos Estados Unidos". Embora o DOE não utilize etanol em seu programa de ônibus escolares, ele tem convênio para a utilização deste combustível em alguns ônibus urbanos para transporte de passageiros.

Tabela 5.1 Unidades do "Programa de Combustíveis Alternativos para a Operação Comercial de Veículos Pesados", vinculado ao Departamento de Energia dos EUA

OPERADOR	LOCALIDADE	NÚMERO	COMBUSTÍVEL
Roadway Express	Ohio	3	GN liq. (Tecogen)
Roadway Express	Ohio	2	GN liq. (Hercules)
Conway Freight	Califórnia	7	GN liq. (Convertido)
Midwest States Ethanol Project	Minnesota/Nebraska	4	Etanol (DDC)
United Parcel Service	Columbia/Maryland	20	GN
Entenmanns Bakery	Flórida	100	GN (Hercules)
Tampa Electric	Flórida	300	GLP (Ford)
Coors	Colorado	1	Etanol (DDC)
Aramalini	Flórida	1	Clean Diesel
Coca Cola	Geórgia	25	GN
CNG	Canada	5	GN
Vons Companies Inc.	Califórnia	1	GN (Caterpillar)
U.S. Postal Service	CA,MA,MD,NY	8	GN (Tecogen)
CA Energy Commission	Califórnia	1	GN (Cummins)
CA Energy Commission	Califórnia	2	GN (Caterpillar)
IL Dept of Natural Resources	Illinois	4	Etanol (DDC)
NY Dept of Sanitation	Nova York	7	GN (Cummins)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	7	GN (GM)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	7	GN (Chrysler)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	7	GN (Ford)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	20	M-85/Gasolina (Ford)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	13	GLP (Ford)
SCAQMD-Federal Express	Califórnia	7	GLP (GM)
TOTAL		552	

Fonte: (GOGUEN & MCCALLUM, 1993)

Tabela 5.2 Unidades do “Programa de Combustíveis Alternativos para Ônibus Escolares”, vinculado ao Departamento de Energia dos EUA

OPERADOR	LOCALIDADE	NÚMERO	COMBUSTÍVEL
Condado de Tulsa	Oklahoma	55	GN
Condado de Tulsa	Oklahoma	45	GN
Cidade de Weston	Massachusetts	3	GN
Cidade de Weston	Massachusetts	2	GN
Condado de Wood	West Virginia	2	GN
Condado de Wood	West Virginia	2	GN
Condado de Wood	West Virginia	4	GN
Condado de Maricopa	Arizona	4	GN
Condado de Braxton	West Virginia	3	GN
Condado de Montgomery	Pensilvânia	1	Metanol
D.C. Public Schools	Distrito de Columbia	4	GN
Escola do Distrito de Springfield	Missouri	4	GN
Escola do Distrito de Jordan	Utah	4	GN
Universidade de Vermont	Vermont	2	GN
Escola do Distrito de Shenendehowa	Nova York	2	GN
Escola do Distrito de Marcus Whitman	Nova York	2	GN
Albuquerque	Novo México	4	GN
Condado de Franklin	Kentucky	4	GN
Condado de Montgomery	Maryland	2	GN
Condado de Baltimore	Maryland	2	GN
TOTAL		151	

Fonte: (GOGUEN & MCCALLUM, 1993)

Frotas de ônibus urbanos apresentam características próprias que as qualificam como um bom objeto de investigação a respeito do uso de combustíveis alternativos em motores pesados. Os motores dos ônibus e os seus sistemas de combustível são muito semelhantes aos dos caminhões pesados. Assim, resultados positivos encontrados em estudos sobre ônibus urbanos são positivamente aplicáveis à população muito maior de caminhões e outros veículos com motores pesados(WARES & KRENELKA, 1993).

Apenas com dados detalhados nesta área se poderá convencer os operadores de frota que veículos pesados a combustíveis alternativos já existem e que podem atender às suas necessidades(GOGUEN & MCCALLUM, 1993). Segundo estes mesmos autores, o Centro de Dados para Combustíveis Alternativos foi criado especialmente para tornar disponível este

tipo de informação ao público interessado, assim como aos fabricantes que estejam tentando avaliar os seus esforços de pesquisa e desenvolvimento, na busca de áreas onde possam introduzir melhorias em seus produtos.

Todas as companhias de ônibus têm uma estação de abastecimento central, o que permite a introdução de um novo combustível sem a preocupação de falta de postos para abastecimento. Geralmente estas companhias também dispõem de uma oficina completa de manutenção, com engenheiros e técnicos altamente qualificados. Isto permite a estas companhias fazer a manutenção e aprender a lidar adequadamente com veículos experimentais e novas tecnologias. Além disso, algumas companhias de ônibus urbanos são agências governamentais que operam sem, necessariamente, objetivar lucro. Isto permite o experimento e a avaliação de tecnologias novas, não testadas a nível comercial, num nível muito maior do que poderia ser feito em uma frota privada de caminhões, que está sujeita à pressões de ordem econômica, devido ao próprio ambiente em que opera(WARES & KRENELKA, 1993).

De acordo com a legislação do Alternative Motor Fuels Act-AMFA, os ônibus urbanos movidos a combustíveis alternativos devem ser avaliados quanto ao seu grau de segurança, de confiabilidade, de economicidade, de durabilidade e de consumo de combustível. A avaliação adicional das emissões de poluentes é, por outro lado, um aspecto chave expresso nesta lei.

O esforço do DOE neste sentido é formalmente chamado de Fase II do Programa de Obtenção de Dados sobre Ônibus a Combustíveis Alternativos. A estratégia básica deste esforço é observar cerca de dez conjuntos de ônibus/combustível diferentes entre si, em seis diferentes localidades, sendo que estas dez diferentes opções tem seu desempenho comparado com um conjunto de cinco ônibus diesel de referência em cada uma das seis localidades. No total, são 43 ônibus urbanos operando com combustível alternativo que participam do programa(WARES & KRENELKA, 1993).

Em 1993 havia ônibus operando com etanol em Peoria e em Minneapolis. Os ônibus de Peoria começaram a operar no outono de 1992 e os de Minneapolis no outono de 1993, sendo que ambos funcionavam com uma mistura composta por 95 por cento de etanol em volume e outros componentes. Este combustível é denominado E95. Cada uma destas cidades operava cinco ônibus com E95, sendo que todos os ônibus tinham um motor modelo DDC 6V92 da Detroit Diesel Corporation(WARES & KRENELKA, 1993).

Paralelamente ao Departamento de Energia e outros órgãos e companhias públicas americanas, existem companhias privadas que atuam das mais diversas formas para tornar possível a operação comercial de veículos pesados a etanol, em parceria com o programa do

DOE, ou não. Dentre estas empresas privadas, a Detroit Diesel Corporation tem ocupado um papel que, dada a sua importância, tem sido, até o momento, ímpar, até porque esta empresa é a maior fabricante de motores para ônibus urbanos nos EUA, conforme já foi mencionado.

Após ter dispendido um grande esforço, desde o começo dos anos oitenta, quando do início do seu programa de desenvolvimento de motores a álcool, a DDC finalmente obteve um certificado definitivo da EPA, que permite a fabricação em série, para funcionar com metanol, de uma versão do seu motor 6V-92TA para ônibus urbano (MILLER, 1991).

Enquanto as normas da Califórnia para o ano de 1991 para emissões de poluentes por ônibus urbanos, normas que equivalem às normas federais para os EUA no ano de 1993, podiam ser atendidas sem a adição de conversores catalíticos, a DDC decidiu oferecer este equipamento como parte de seu modelo standard a metanol, que passou a ser fabricado a partir de 1991. A adição do conversor permitiu a redução das emissões a patamares substancialmente abaixo dos exigidos pelas normas de 1993. A confiabilidade apresentada pelos motores diesel movidos a álcool que já operavam no mercado ajudou a DDC a tomar a decisão pela produção do modelo standard em série. Para tanto, foram pesquisados, sobretudo, óleos lubrificantes especiais, bem como aditivos ao combustível, que visam manter as pontas dos injetores de combustível livres de depósitos (MILLER, 1991).

A respeito do motor 6V-92TA a álcool da Detroit Diesel Corporation, Miller (1991) afirma: "A capacidade do motor DDC de dois tempos a metanol para queimar outros tipos de mistura a álcool já foi, agora, também demonstrada. Uma vez que o motor utiliza um sistema de injeção de combustível controlado por microprocessador, qualquer mistura metanol/gasolina, com 85 a 100 por cento de metanol -M85 a M100, respectivamente-, assim como etanol, podem ser queimadas, mantendo ao mesmo tempo uma boa combustão e um reduzido nível de emissão de poluentes. Isto pode ser obtido pela simples mudança na calibração do microprocessador, de forma a compensar os diferentes calores específicos volumétricos de cada combustível, bem como se buscar automaticamente o melhor tempo para a injeção da mistura".

A DDC, ainda em 1991, já tinha, segundo Miller (1991), dois projetos operando regularmente com etanol: o de um caminhão em Coors e o de dois ônibus em Regina. Mas esta companhia estava, contudo, iniciando a operação de mais projetos em outras localidades, como pode ser visto na tabela 5.3.

Tabela 5.3 Projetos da DDC para operar motores diesel consumindo etanol em 1991

MOTOR	APLICAÇÃO	NÚMERO	LOCAL	INÍCIO
6V-92TA	Caminhão	1	Cervejaria de Coors	3º Quad/1990
6V-92TA	Ônibus	14	Peoria/Trânsito	1º Quad/1991
6V-92TA	Ônibus	2	Regina/Trânsito	1º Quad/1991
6V-92TA	Caminhão	2	Condado de Hennepin/Minnessota	2º Quad/1991

Fonte: (MILLER, 1991)

A experiência da DDC na produção de motores diesel para uso com álcool como combustível, parece estar se firmando cada vez mais. Parry, Miller & Walker (1993) fornecem informações mais detalhadas a respeito das modificações feitas no motor 6V-92TA para operar com álcool, bem como do aumento da frota e dos resultados técnicos obtidos após alguns anos de experiência com o uso destes motores.

Havia mais de 550 motores da DDC movidos a álcool, metanol e etanol, até 1993, servindo em diversas funções em 14 importantes cidades da América do Norte. Estes motores estavam instalados em veículos pesados operando na maior parte dos casos ao lado de veículos semelhantes equipados com motores consumindo óleo diesel. Eles realizavam serviços semelhantes todos os dias, sua manutenção era feita pelas mesmas equipes e eles não apresentavam qualquer problema especial em relação aos motores convencionais(PARRY, MILLER & WALKER, 1993).

A aparência do motor a álcool é quase idêntica à configuração do motor diesel convencional e ele geralmente pode ser fixado no mesmo tipo de chassis. Contudo, há certas modificações que precisam ser feitas para que o motor consiga obter a ignição do álcool, que tem um menor número de cetanas, através da compressão. Elas incluem uma taxa de compressão maior, modificações no sistema que conduz ar para os pistões e nos que regulam a formação da mistura, o uso de injetores capazes de permitir um fluxo maior de combustível e a incorporação de plugs de aquecimento para uso durante a partida a frio, quando os plugs assistem a combustão durante o aquecimento do motor. Todos os motores a álcool que saem da fábrica incorporam um conversor catalítico para permitir o máximo de redução nos níveis de emissão dos poluentes(PARRY, MILLER & WALKER, 1993).

Embora tenha ocorrido alguns atrasos nos projetos da DDC para veículos pesados operando com etanol, eles seguiram adiante e, segundo Parry, Miller & Walker (1993), com sucesso. Houve, ainda, a compra de mais três caminhões no estado de Minnessota e a compra de outros quatro caminhões pela companhia Archer Daniels Midland-ADM, em Decatur, Illinois. A frota instalada de motores a diesel para uso com etanol da DDC, até 1993, está expressa na tabela 5.4.

Até 1993 os dados indicavam que tanto a frequência de reparos como o custo dos motores a álcool no campo têm apresentado um desempenho favorável em comparação com o óleo diesel. Mas estava-se recolhendo os custos de manutenção para o grupo de motores a etanol para completar a comparação(PARRY, MILLER & WALKER, 1993).

Tabela 5.4 Frota de veículos pesados com motores a diesel, da Detroit Diesel Corporation, operando com o etanol como combustível, até meados de 1993

TIPO DE VEÍCULO	APLICAÇÃO	LOCAL	NÚMERO	MILHAS ACUMULADAS
Ônibus	Trânsito	Regina	2	123.636
Ônibus	Trânsito	St.Paul/ Minnessota	5	60.000
Ônibus	Trânsito	Peoria/Illinois	14	377.774
Caminhão	Movimentação Interna de Carga	Cervejaria de Coors/Colorado	1	50.000
Caminhão		Decatur/IL	4	445.548
		TOTAL	26	1.056.958

Fonte: (PARRY, MILLER & WALKER, 1993)

Parry, Miller & Walker (1993) chegaram a um resultado positivo para o álcool, em termos de custo relativo, em comparação com o óleo diesel, entre outros motivos porque os ônibus a álcool estão muito melhor equipados para apresentar um desempenho energético bastante eficaz, uma vez que o seu sistema de injeção é todo monitorado por computador. Além disso, da frota de veículos a álcool equipados com motores da DDC, a sua enorme

maioria opera com metanol, que, como se sabe, tem um custo de produção bem menor que o etanol nos EUA. A eficiência energética dos veículos a etanol da DDC também não deixa de ser encorajadora, pois, segundo Parry, Miller & Walker (1993), o consumo energético do etanol em relação ao óleo diesel, na mesma distância percorrida, é de 1 para 1,1. Mesmo considerando que o sistema de injeção eletrônica seja, talvez, o maior responsável por esta façanha, isto não deixa de ser um feito e tanto.

Além dos mais de 550 veículos a álcool, metanol e etanol, já em operação em 1993, quando eram cerca de 100 em 1990, a DDC estava em processo de entrega de mais 92 veículos pesados a álcool em 1993, sendo que, destes, 7 seriam movidos a etanol, de acordo com Parry, Miller & Walker (1993).

Atualmente, tanto o motor 6V-92 TA para operar com metanol como o para operar com etanol são modelos standard da DDC. O motor a metanol recebeu o certificado da USEPA em meados de 1991 e o motor a etanol recebeu o seu certificado no final de 1992(MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993).

O motor DDC 6V-92TA standard a etanol tem seis cilindros, 552 polegadas cúbicas, pode produzir até 350 hp e seu ciclo funciona com dois tempos. Como o modelo convencional a óleo diesel, ele opera pelo princípio de ignição por compressão, ao invés de por centelha. Ele pode ser utilizado em caminhões, tratores, ônibus de linha, ônibus escolares, ônibus de

turismo, etc. Possui, além disso, um sistema de controle eletrônico que é utilizado para otimizar a potência e o torque do motor(MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993).

Há um grande número de projetos sendo desenvolvidos pela DDC visando novas aplicações para motores pesados a álcool. Dentre estes, há um sendo financiado pelo Great Lakes Governors Council, que envolve o desenvolvimento de um motor DDC 8V-92 TA a etanol, que é baseado no motor 6V-92 TA a etanol. Estão sendo utilizados os mesmos pistões, injetores, plugs de aquecimento, etc, juntamente com as cabeças de cilindro e as tubulações de aspiração de ar de um motor de veículo militar movido a óleo diesel, de alta potência(PARRY, MILLER & WALKER, 1993).

O desempenho dos motores a álcool no que se refere às suas emissões de poluentes foi um fator chave para o lançamento de sua produção. As tabelas 5.5 e 5.6 mostram o desempenho dos motores a diesel da DDC que foram equipados para operarem com etanol e metanol, respectivamente.

Tabela 5.5 Emissões dos motores pesados da DDC movidos a etanol

	HC(g/hp-hr)	CO(g/hp-hr)	NOx(g/hp-hr)	Material Particulado (g/hp-hr)
Legislação para caminhões-1998	1,3	15,5	4,0	0,10
Resultados na certificação do motor a etanol	0,7	1,7	4,2	0,04
Resultados do desenvolvimento posterior do motor a etanol	0,3	1,7	3,7	0,04

Fonte:(PARRY, MILLER & WALKER, 1993)

Tabela 5.6 Emissões dos motores pesados da DDC movidos a metanol

	HC(g/hp-hr)	CO(g/hp-hr)	NOx(g/hp-hr)	Material Particulado (g/hp-hr)
Legislação para caminhões-1998	1,3	15,5	4,0	0,10
Resultados na certificação do motor a metanol	0,08	2,0	1,7	0,03

Fonte:(PARRY, MILLER & WALKER, 1993)

Até agora foi visto, nesta seção da tese, o uso de etanol em motores diesel sob o ponto de vista de algumas agências do governo dos EUA, bem como de um dos maiores fabricantes

de motores pesados daquele país. São expostas, a seguir, as avaliações de três usuários de motores diesel movidos a etanol: a companhia operadora da frota de ônibus urbanos a etanol da cidade de Peoria, bem como as companhias ADM e EA Muller. É importante se salientar que os produtores de etanol a partir de milho nos EUA tem estado envolvidos, direta ou indiretamente, nestas experiências.

Conforme já foi apresentado nesta tese, o etanol é produzido nos EUA principalmente a partir do milho, uma cultura abundante naquele país. Atualmente é também uma das poucas fontes renováveis de energia economicamente viáveis no mercado. O estado de Illinois lidera a produção americana de etanol, com mais de 500 milhões de galões de álcool anidro por ano, para ser adicionado à gasolina, sendo que este estado também produz 1,3 bilhões de bushels de milho anualmente, sendo superado apenas por Iowa. Desta forma faz sentido que Illinois lidere os testes e as demonstrações do uso de etanol como um combustível alternativo para o setor de transportes no país (MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

A primeira e maior frota de ônibus urbanos movidos a etanol no país está sendo testada e demonstrada na cidade de Peoria, Illinois, pela companhia Greater Peoria Mass Transit District. Os quatorze ônibus movidos a etanol foram fabricados pela companhia Transportation Manufacturing Corporation-TMC, em Roswell, Novo México, utilizando motores 6V-92TA para etanol da Detroit Diesel Corporation, com potência de 253 hp. A DDC é, atualmente, o único fabricante de motores pesados a etanol para ônibus a oferecer os motores com certificado de aprovação federal.

O Programa de Demonstração da Frota de Ônibus a Etanol de Peoria utiliza um sistema completamente computadorizado para monitorar e gerenciar a operação dos ônibus a etanol. Consumo de combustível, manutenção, registro de reparos e custos operacionais são, entre muitos outros parâmetros, alguns dos dados que podem ser obtidos facilmente nos computadores do Programa.

O combustível utilizado nos ônibus a etanol é o "E-95". Este combustível é composto de 95 por cento de álcool anidro, com menos de 1 por cento de água em volume, desnaturado com 5 por cento de gasolina sem chumbo, como é requerido pela legislação ambiental americana. Uma quantidade muito pequena, menos de 0,5 por cento, de um agente lubrificante especial, Lubrizol, é adicionado ao combustível, de forma a fornecer uma melhor lubrificação aos cilindros do motor.

Os ônibus estão sujeitos a uma variedade muito grande de tipo de tráfego, assim como o seu percurso se dá nas mais diferentes condições topográficas. Os ônibus são operados 6 dias por semana, 52 semanas por ano e sob todas as condições climáticas.

Um dos parâmetros examinados mensalmente é a distância percorrida em milhas por galão pelos quatorze ônibus movidos a etanol e pelos modernos ônibus a diesel que servem como parâmetro de controle. O E-95, com os 5 por cento de gasolina, contém cerca de 78.000 BTU por galão, em comparação ao óleo diesel, que contém 138.000 BTU por galão. Considerando-se estes dados, o E-95 contém cerca de 57 por cento da energia do óleo diesel utilizado. A distância média percorrida, por galão, dos quatorze ônibus a etanol deveria ser, portanto, 57 por cento da distância média percorrida pelos ônibus a diesel. Os três modernos ônibus a diesel, que compõem a frota de referência, têm apresentado um percurso variando entre 3,35 e 3,40 milhas por galão desde que o programa começou, em outubro de 1992. Desta forma, o percurso médio desejado para os ônibus a etanol seria de 1,92 milhas por galão. Contudo, o percurso médio, por galão, dos ônibus a etanol tem sido maior que o esperado. De fato, o percurso médio dos ônibus a etanol tem aumentado constantemente à medida que o programa prossegue e está 18 por cento acima do que era esperado. É provável que uma pequena quantidade de energia presente no vapor seja responsável pelo aumento da economia de combustível¹, mas é mais provável ainda que este aumento na eficiência seja devido aos modernos controles eletrônicos instalados nos motores DDC 6V-92TA e às próprias características do combustível, o E-95(MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993).

Outro importante parâmetro é o custo de operação dos ônibus a etanol, em comparação com os três modernos ônibus a diesel servindo de frota de referência e, também, com o restante da frota. A este respeito, o desempenho dos ônibus movidos a etanol não é tão bom quanto o dos movidos a óleo diesel, especialmente devido aos custos diferenciados dos dois combustíveis. Na média, o óleo diesel custava US\$ 0,69 por galão e o E-95 custava US\$ 1,20 por galão. Desde o começo do programa a operação dos ônibus a etanol custou US\$ 0,65 por milha percorrida, versus US\$ 0,20 por milha percorrida pelos modernos ônibus a diesel da frota de referência e US\$ 0,19 por milha do restante da frota de ônibus de Peoria.

Poucos reparos e paradas para manutenção nos quatorze ônibus a etanol estão relacionados com o uso deste combustível. Na base do mesmo número de milhas percorridas por veículo, os ônibus a etanol requerem cerca do mesmo número de reparos e paradas para manutenção que os ônibus da frota de referência(MAREK, BROWN & WEINZIERI, 1993).

¹Os autores não fazem comentários adicionais que possam levar a um maior esclarecimento a este respeito.

É ainda no estado de Illinois que se encontra a frota de caminhões movidos a etanol da companhia ADM. Esta foi a primeira frota de caminhões movidos a etanol a rodar em percursos intermunicipais nos EUA.

O estado de Illinois é o maior usuário de gasolina contendo 10 por cento de etanol nos Estados Unidos. Mais de 159 milhões de galões de etanol são utilizados para adição à gasolina por ano no estado, bem como cerca de 30 por cento da gasolina vendida em Illinois contém etanol(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993a).

A empresa Archer Daniels Midland-ADM, da cidade de Decatur, Illinois, é a maior produtora de gasolina contendo álcool anidro no país e opera uma frota de mais de 800 veículos. A sua subsidiária, a ADM Trucking, opera a frota de caminhões para a companhia e precisa cumprir as regulamentações estabelecidas pelo Clean Air Act para caminhões. Desta forma, faz sentido a ADM participar de um programa do DOE, operando uma frota de caminhões a etanol(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993a). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

A frota a etanol da ADM é composta por quatro caminhões a etanol e por um caminhão idêntico aos anteriores, mas com um motor convencional movido a óleo diesel e que serve como unidade de referência para o programa. A ADM selecionou quatro caminhões modelo White-GMC WIM64T, porque os motores 6V-92TA da DDC poderiam ser instalados facilmente sem a necessidade de mudança de chassis ou da estrutura metálica onde é feita a colocação.

Os motores a etanol da ADM diferem ligeiramente dos motores utilizados nos ônibus da cidade de Peoria porque eles foram projetados na fábrica para terem uma potência de 300 hp ao invés de 253.

Os motores da ADM possuem dutos de alimentação de combustível mais resistentes à corrosão, bem como uma taxa de compressão aumentada para 23:1. Eles são idênticos aos outros motores 6V-92TA da DDC para etanol, à exceção de uma maior potência e torque(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993a).

Da mesma forma que os ônibus de Peoria, os caminhões da ADM também operam com o combustível E-95. A diferença, contudo, segundo Marek, Stamper e Miller (1993a) está no fato de que a este combustível é acrescido menos de 0,1 por cento de Lubrizol, o agente lubrificante especial que os ônibus de Peoria também usam, embora, naquele caso, o lubrificante fosse utilizado numa maior proporção.

Cada um dos quatro caminhões a etanol, assim como o caminhão de referência, tem dois tanques de combustível com capacidade individual de 120 galões. A autonomia dos caminhões a etanol é de 800 milhas, enquanto que a do caminhão de referência a óleo diesel é de 1.100 milhas. Devido à sua menor autonomia e à pouca disponibilidade do combustível E-95 no mercado, os caminhões a etanol estão sendo operados em rotas que permitem aos mesmos deixarem as instalações da ADM pela manhã e retornarem às mesmas à noite sem a necessidade de abastecimento durante o dia. Existe a possibilidade de se instalar estações de reabastecimento nos terminais de caminhões da ADM em Iowa e no Missouri, de forma a aumentar a autonomia destes veículos e de se demonstrar esta frota de caminhões em outras partes do meio-oeste americano.

Considerando os conteúdos energéticos do E-95, 78.000 BTU/galão, e do óleo diesel, 138.000 BTU/galão, o percurso médio por galão dos caminhões a álcool deveria ser igual a 57 por cento de um similar movido a óleo diesel, assumindo que as cargas e os percursos são os mesmos. Contudo, este não tem sido o caso com os caminhões a álcool da ADM. O caminhão de referência a óleo diesel tem apresentado uma média de 5,30 milhas percorridas por galão, enquanto os caminhões a álcool têm apresentado uma média de 4,00 milhas por galão, quando o esperado seria de 3,02 milhas por galão. É possível que um pequeno efeito do vapor, menos de 1 por cento de água presente no álcool anidro, seja parcialmente responsável por este aumento de cerca de 30 por cento na economia de combustível. Mas, o mais provável, é que o motor simplesmente tenha um desempenho superior devido às melhorias que foram introduzidas para ele ser movido a E-95(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993a).

Um outro fator que pode explicar a significativa diminuição relativa no consumo de combustível dos caminhões da ADM movidos a álcool, em relação ao caminhão de referência, movido a óleo diesel, é o fato deles percorrerem diferentes rotas todos os dias. Embora a introdução desta diferença nas rotas não tenha sido intencional é, provavelmente, um outro fator que deve ter contribuído significativamente para esta diferença. Uma análise mais detalhada dos ciclos de operação dos dois tipos de caminhões deverá, ainda, ser realizada(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993b).

No passado, os injetores de combustível dos motores diesel alimentados a álcool apresentaram problemas. A produção anterior de motores 6V-92TA operando com metanol teve sérios problemas com estes componentes, pois eles tinham que ser trocados após somente cerca de 3.000 milhas. Isto parece ter sido praticamente resolvido na frota de caminhões da ADM a etanol. Os injetores dos quatro motores 6V-92TA a etanol duraram entre 75.000 e

85.000 milhas, antes que a troca se fizesse necessária(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993b).

A confiabilidade do motor 6V-92TA a etanol estava sendo tão boa quanto ou ligeiramente melhor que a do seu similar a diesel. Dois dos quatro veículos já haviam acumulado mais de 100.000 milhas com um tempo mínimo de parada. Os outros dois veículos deveriam ultrapassar a marca das 100.000 milhas pelos meados do verão de 1993. Os motoristas destes caminhões também se mostravam muito satisfeitos com o desempenho dos caminhões(MAREK, STAMPER & MILLER, 1993b).

Nos testes mencionados neste capítulo até agora, a respeito do uso de álcool em motores diesel nos EUA, considerou-se apenas o seu emprego em veículos novos. Contudo, veículos equipados com motores diesel normalmente possuem vida longa e existe a preocupação de que muitos destes veículos não consigam atingir as normas mínimas estabelecidas pela EPA, no que se refere ao controle de emissão de poluentes, quer fosse para o ano de 1991, 1994 ou 1998. Motores a diesel, devido à sua elevada emissão de materiais particulados, praticamente inviabilizam o uso de conversores catalíticos. Desta forma, a transformação da frota americana de veículos a diesel equipados com motores de modelos mais antigos para a queima de álcool é uma possível solução para que ela continue operando dentro das normas exigidas pela EPA.

O uso de aditivos do tipo "ignition-improver", ou seja, de líquidos que, quando adicionados ao etanol ou metanol aumentam a sua cetanagem de forma a que a mistura resultante possa atingir ignição por compressão em motores diesel convencionais, é uma opção que deve ser considerada. Neste tipo de motor, a taxa de compressão costuma ser por volta de 16 ou 17, e eles não poderiam funcionar apenas com o combustível E-95, sem um aditivo, ao contrário do caso do motor 6V-92TA para álcool da DDC. Isto porque este motor, além de apresentar uma série de outras modificações, possui, ainda, uma taxa de compressão aumentada para 23, o que permite a diminuição da cetanagem do combustível sendo utilizado de forma a que ele, mesmo assim, atinja a ignição por compressão.

Bechtold, Timbario & Miller (1991) descrevem uma experiência conduzida pela companhia EA Mueller usando metanol e etanol com cetanagem aumentada devido ao uso de um aditivo, no caso, o conhecido pelo nome comercial de Avocet, em um motor a diesel de modelo antigo.

O motor utilizado nos testes é de 1979, da DDC, modelo 8V-71. Ele é um motor a diesel de oito cilindros, com aspiração natural, de dois tempos, que foi um motor popular para

uso em ônibus urbano no passado. Um motor bastante empregado em ônibus urbanos modernos é o DDC 6V-92TA, que também é de dois tempos, mas que é turbo. O modelo 8V-71 é mais representativo dos motores mais antigos ainda em operação, enquanto que o modelo 6V-92TA é tipicamente encontrado nos novos ônibus para trânsito urbano (BECHTOLD, TIMBARIO & MILLER, 1991). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

A seleção da mistura ótima de etanol/Avocet foi baseada nos resultados de testes de transientes de partida a quente. Três misturas de etanol/Avocet foram testadas: 4,0; 6,0 e 7,5 por cento de Avocet.

Os resultados dos testes com estas misturas indicaram que as emissões de matéria orgânica equivalente a hidrocarbonetos-MOEH², e CO, são muito altas para uma mistura com 4 por cento de Avocet e um pouco maiores para uma mistura com 6 por cento, quando ambas são comparadas a uma mistura com 7,5 por cento do aditivo. As altas emissões foram acompanhadas por uma combustão errática, que foi constatada pelo mapeamento da variação da pressão no cilindro. Para uma mistura com 7,5 por cento de Avocet as emissões de MOEH, CO e NO_x são praticamente equivalentes as emissões obtidas quando se utiliza o óleo diesel como combustível. Percentagens maiores de Avocet não foram testadas porque em testes anteriores, nos quais se utilizou metanol, os resultados obtidos foram essencialmente os mesmos que se obteve para o etanol. Além disso, com porcentagens maiores de Avocet observou-se um ligeiro declínio nas emissões de MOEH e CO, enquanto que ocorria um aumento de magnitude similar nas emissões de NO_x (BECHTOLD, TIMBARIO & MILLER, 1991).

A dramática diferença visual encontrada nos filtros de particulados para o uso de etanol e para o uso de óleo diesel sugerem uma larga diferença na emissão de particulados. Este não foi, contudo, o caso, uma vez que as emissões medidas foram de 0,79g/bhp-hr para o óleo diesel e de 0,57g/bhp-hr para a mistura etanol/Avocet. As emissões relativamente altas deste motor para os dois tipos de combustíveis foram, provavelmente, causadas, principalmente, pelo alto consumo de óleo lubrificante.

Segundo Bechtold, Timbario & Miller (1991), resumidamente, as vantagens de se utilizar etanol ou metanol com cetanagem aumentada, devido ao uso de um aditivo específico para tal finalidade, em um motor a diesel de dois tempos da DDC são: as modificações

²A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos-EPA prefere, muitas vezes, utilizar este índice, mais abrangente, pois leva em consideração outros poluentes normalmente não medidos, ao invés de simplesmente medir os hidrocarbonetos, obtendo o conhecido índice HC.

necessárias podem ser feitas no motor sem a necessidade de removê-lo do lugar; os motores que já estão em circulação podem ser modificados facilmente; o baixo custo deste procedimento, quando comparado à substituição por um motor novo; e a grande redução na emissão de poluentes.

O trabalho de Bechtold, Timbario e Miller (1991) não faz referência a qualquer análise econômica que tenha sido feita para comparar as várias opções que possam se apresentar a um operador de frota para que ele atenda às exigências da EPA para a década de noventa. Além disso, não foi utilizado qualquer conversor catalítico na experiência, o que reduziria ainda mais a emissão de materiais particulados e outros poluentes, se o conversor fosse adotado, ao se comparar o uso do álcool com o do óleo diesel. O tipo de filtro do qual se utilizaram indicou apenas que as emissões reduziram-se, no caso do uso de etanol e metanol, bem aquém do que se obteve em outras experiências do gênero, com já foi visto e será visto mais adiante.

O grande problema com a experiência de Bechtold, Timbario e Miller (1991) é que eles se utilizaram de um motor, talvez, demasiadamente velho. Com relação ao consumo de óleo para o funcionamento do motor, e de sua influência na emissão de particulados, eles próprios afirmam: "Usando a mistura etanol/Avocet resultou numa redução de particulados não voláteis de cerca de 0,30 para 0,10 g/bhp-hr. Contudo, o alto consumo de óleo deste motor contribuiu para cerca de 0,50 g/bhp-hr no total de particulados. Quando se olha para o resultado total da emissão de particulados, o efeito do uso de etanol/Avocet na redução de particulados fica obscurecido".

Com relação às desvantagens do uso de aditivos ao etanol ou ao metanol para aumentar a sua cetanagem, permitindo a queima por compressão em motores diesel, Bechtold, Timbario e Miller (1991) afirmam: "As desvantagens incluem: o custo do aditivo e as modificações nas operações e em outros aspectos que envolvem a manutenção de motores operando com um novo tipo de combustível".

À respeito dos ônibus velhos e novos operando a álcool nos EUA, Wares & Krenelka (1993) afirmam: "Levando tudo em conta, os ônibus consumindo álcool, seja metanol ou etanol, estão providenciando um serviço satisfatório aos passageiros num ambiente de trabalho que é difícil. É importante notar que, desde que o uso de álcool em ônibus foi introduzido há cinco anos atrás nos EUA, não se tem notícia de qualquer dano físico causado ao homem associado a este fato. Esta operação segura de ônibus movidos a álcool nos EUA tem, no momento, mais de 10 milhões de milhas rodadas no total".

Não há dúvidas, porém, que o metanol e o gás natural continuarão, no médio e talvez no longo prazo, a ser as alternativas preferenciais ao óleo diesel nos Estados Unidos, como pode ser observado das tabelas 5.1 e 5.2. Os principais motivos para esta preferência são: disponibilidade e segurança no fornecimento do combustível e, também, o custo, que é amplamente favorável ao gás natural e ao metanol, o qual, por sua vez, é sintetizado a partir do próprio gás natural como principal matéria prima.

As experiências realizadas com o uso de etanol em motores diesel nos EUA, assim como em outros países, podem ser de grande valia para o Brasil. Pois neste país além de se encontrarem escassas reservas de gás natural, já se apresenta uma produção expressiva de etanol a um custo inferior aos encontrados no exterior. Soma-se a isto o fato da matriz energética brasileira apresentar algumas distorções no mercado de combustíveis automotivos líquidos. Atualmente o Brasil exporta gasolina, que poderia ser consumida em carros brasileiros em substituição a uma parcela do etanol atualmente sendo consumido com esta finalidade. Para tanto, o etanol a ser substituído por gasolina, que deixaria de ser exportada, poderia, se os fatos assim o justificarem, ser consumido em motores diesel. Diminuir-se-ia, desta forma, a importação de combustíveis líquidos pelo país, pois o óleo diesel é o derivado de petróleo com maior demanda no Brasil, sendo parcialmente importado para atender ao mercado interno.

5.3.2 O Uso de Aditivos para Facilitar a Ignição por Compressão do Álcool

Existem vários aditivos que, adicionados ao álcool, podem aumentar a sua cetanagem, de forma a que ele possa ser consumido em motores diesel através do processo de ignição por compressão. O próprio óleo diesel pode ser misturado ao álcool em determinadas proporções e, com o auxílio de estabilizadores químicos da mistura, torná-la homogênea. O uso de uma maior ou menor quantidade de aditivo, para aumento da capacidade de auto-ignição, sob compressão, do álcool, está diretamente relacionado à taxa de compressão do motor sendo utilizado. Quanto maior a taxa de compressão do motor a diesel utilizado, menor tende a ser a proporção de um aditivo deste tipo na mistura álcool/óleo diesel.

Do que foi possível apurar, o aditivo conhecido pelo nome comercial de Avocet, fabricado pela companhia ICI, tem sido o que mais tem aparecido em experiências a este

respeito. Não se efetua nesta seção, contudo, quaisquer comparações entre as qualidades e defeitos de aditivos. Faz-se, apenas, uma descrição sucinta de alguns programas utilizando o Avocet.

O motor movido a óleo diesel e que funciona por ignição por compressão, é o motor preferido no transporte de carga e no transporte coletivo de passageiros, pois é cerca de 30 por cento mais eficiente do que qualquer tipo de motor movido a gasolina, sendo, também, muito mais durável. O maior problema do motor diesel é o seu alto nível de emissão de materiais particulados, em comparação com o motor a gasolina. Além do motor diesel emitir uma fumaça altamente danosa a saúde, ele também possui a característica de tornar praticamente impossível o uso de sistemas catalizadores visando a redução da emissão de poluentes por seu sistema de exaustão de gases (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991). Os parágrafos a seguir também foram baseados nestes autores.

A busca de uma tecnologia que combinasse a elevada eficiência do motor diesel com um baixo nível de emissão de poluentes conduziu ao possível uso de combustíveis alternativos em motores de ignição por compressão, estando o metanol e o etanol entre os combustíveis que mais se destacaram neste sentido. Para se queimar álcool em um motor diesel é necessário se modificar o motor ou o combustível. O primeiro caso envolve a instalação de ignição auxiliar por centelha ou de plugs de aquecimento, incorre em custos adicionais de manutenção e é virtualmente impossível de se instalar em motores já em operação.

Visando superar estes problemas, a companhia ICI introduziu no mercado o Avocet, um aditivo criado com o propósito de melhorar as condições de ignição de um combustível, o que permite aos alcoois substituir o óleo diesel em motores a ignição por compressão sem a necessidade de ignição auxiliar por centelha ou de plugs de aquecimento. O Avocet também possui em sua formulação componentes que visam à lubrificação e o combate à corrosão, de forma a compatibilizar o novo combustível ao sistema de suprimento de combustível do motor diesel (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991).

A menor concentração de Avocet no combustível é de cerca de 2 por cento, dependendo do tipo de motor. Com o uso de um aditivo mantém-se as tradicionais vantagens do motor diesel, como a sua simplicidade, durabilidade e os baixos custos de manutenção. A combustão resultante da ignição por pura compressão é, ao mesmo tempo, ambientalmente mais limpa e energeticamente mais eficiente do que a combustão auxiliada por centelha.

O uso da mistura Avocet/álcool requer alterações no sistema de alimentação de combustível, de forma a ajustá-lo ao maior volume de álcool que é exigido, em comparação

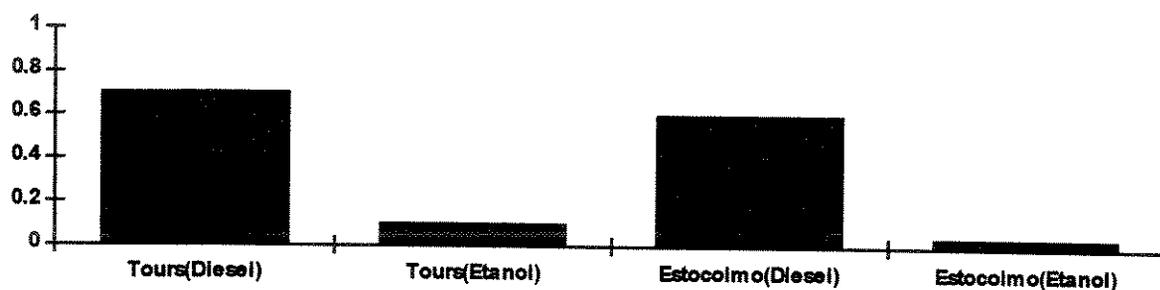
com o de óleo diesel, bem como a troca de alguns anéis de vedação, o uso de tubulação de alumínio, e a substituição de outras partes que podem ser sujeitas ao ataque corrosivo do álcool. Em um projeto piloto efetuado em Auckland, os custos de conversão foram de US\$6.000,00 por ônibus, mas para um maior número de conversões o custo poderia ser significativamente menor (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991).

Para motores otimizados são necessárias modificações adicionais, contudo, observou-se que a maioria das conversões pode ser efetuada pelo próprio pessoal responsável pela manutenção dos veículos. A conversão ideal dos motores inclui novos pistões, injetores de combustível, tanque, dutos de alimentação, bomba de combustível e, também, um sistema de refrigeração do motor.

Numerosas experiências de campo estão sendo realizadas com o Avocet desde 1984. Os projetos na Califórnia, Nova York, Canadá, Nova Zelândia e Taiwan empregam o metanol como combustível, enquanto que os projetos em andamento na Suécia e na França utilizam o etanol (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991).

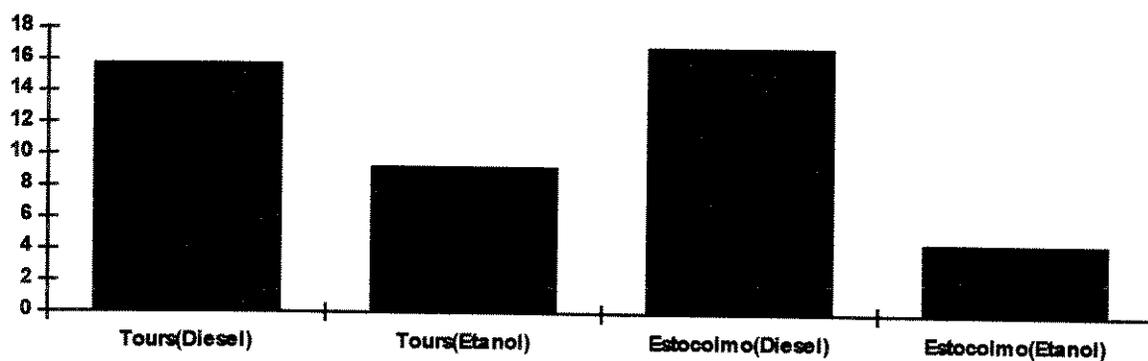
Na França, quatro ônibus movidos a motor diesel da Renault foram convertidos para utilizar etanol/Avocet, pela companhia Moteugaro, de Orleans. Estes ônibus completaram, em 1991, um total de mais de meio milhão de milhas rodadas em serviço regular na cidade de Tours, desde dezembro de 1987. A disponibilidade destes ônibus tem sido igual a dos seus similares movidos a óleo diesel. Os níveis de barulho e vibração dos motores convertidos foram considerados reduzidos. Um dos motores, que foi desmontado e inspecionado após 81.000 km, com cerca de 5.000 horas de operação, não mostrou sinais de defeito ou perda de qualidade. As emissões dos ônibus da cidade de Tours, obtidas sem o uso de conversor catalítico, estão indicadas nas figuras 5.1 a 5.4.

Em abril de 1990 uma frota de quinze ônibus da Scania começou a operar na cidade de Estocolmo, Suécia, movidos a etanol/Avocet. Mais quinze ônibus foram adicionados em setembro de 1990, como parte de um programa de 9 milhões de libras financiado pela Stockholm Transit, pelo governo sueco e pelas companhias Saab-Scania e Swedish Ethanol Chemistry-SEKAB. Esta última fornece o combustível. Os ônibus, equipados com motores com uma alta taxa de compressão, 24, e com conversores catalíticos, têm apresentado taxas de emissões de poluentes bem abaixo dos limites da EPA, operando com concentrações de Avocet tão baixas quanto 2 por cento em volume. Estas taxas também estão indicadas nas figuras 5.1 a 5.4.



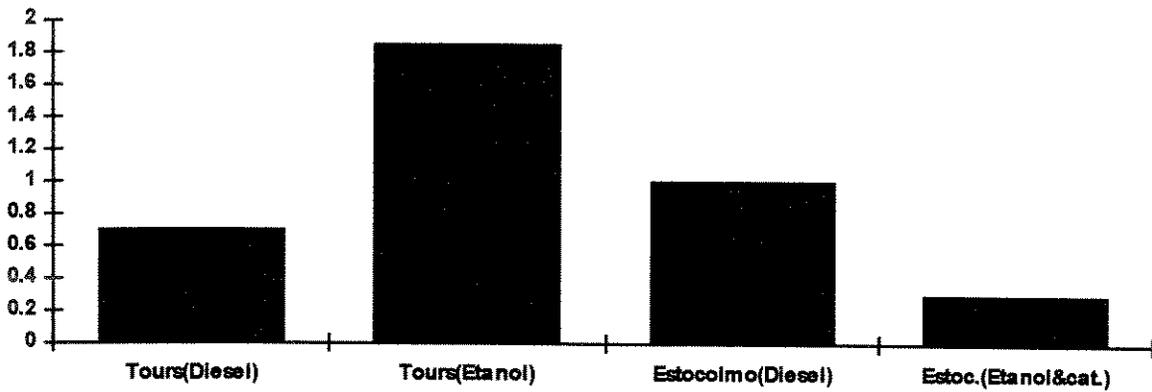
Fonte: (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991)

Figura 5.1 Emissões de materiais particulados por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh



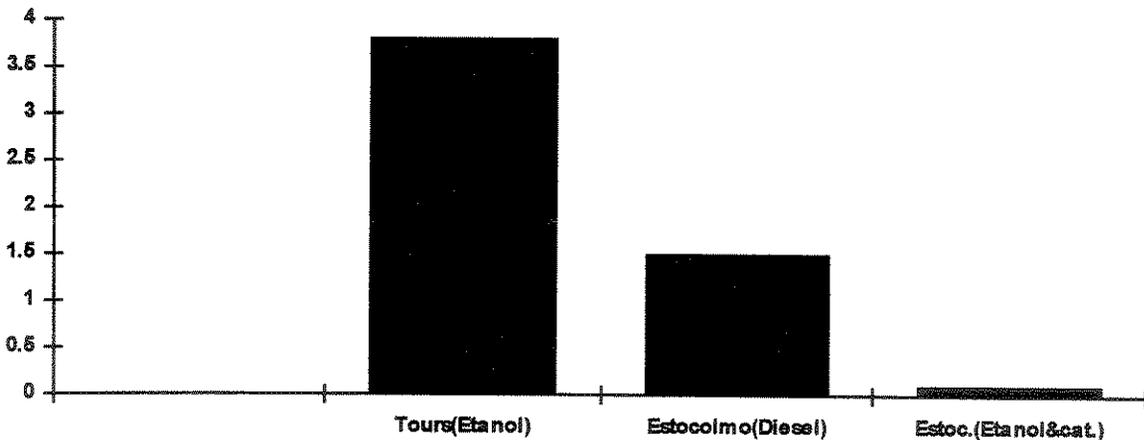
Fonte: (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991)

Figura 5.2 Emissões de NOx, por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh



Fonte:(SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991)

Figura 5.3 Emissões de hidrocarbonetos por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh



Fonte: (SHORT, BETTON & ANTONIO, 1991)

Figura 5.4 Emissões de CO por motores de ônibus, consumindo óleo diesel ou etanol, em g/kWh. As emissões de CO dos ônibus a diesel da cidade de Tours, França, não estão disponíveis.

O programa de ônibus com motores a diesel convertidos para operarem com etanol na Suécia, de que trataram Short, Betton & Antonio (1991) é o assunto do próximo item deste texto. Com relação ao uso de etanol em motores diesel na França, não se obteve informações adicionais que permitissem fazer maiores comparações e análises. Apesar do texto de

Short, Betton & Antonio (1991) sublinhar excessivamente os aspectos positivos do aditivo Avocet, o texto fornece informações interessantes sobre o uso de um aditivo para o aumento da capacidade de ignição por compressão do metanol e do etanol.

5.3.3 Uso de Etanol em Motores Diesel na Suécia

O programa para uso de álcool em motores a diesel nos Estados Unidos é maior em número de veículos, e, aparentemente, também em termos de número de entidades participantes, governamentais ou não, do que o programa equivalente da Suécia; isto ocorre porque nos EUA é elevado o número de veículos pesados movidos a metanol. A frota sueca de veículos pesados com motores a ignição por compressão movidos a etanol em 1993, no entanto, parecia, até onde se pode apurar, ser maior que a americana.

Desde o início da década de noventa esta frota vem aumentando na Suécia e, de acordo com os planos governamentais e de uma pequena parte da iniciativa privada deste país, isto deverá continuar acontecendo no futuro próximo. O objetivo principal desta linha de ação governamental é o mesmo expresso pelas autoridades americanas, ou seja, o de se diminuir a poluição nas grandes cidades com a substituição do óleo diesel por um combustível menos poluente e, no caso do uso do etanol, mesmo que esta substituição seja pouco atraente do ponto de vista estritamente micro-econômico no curto prazo.

Ryden (1991) descreve a formação e as características técnicas gerais da primeira frota de ônibus movidos a etanol na cidade de Estocolmo, Suécia, no início da década de noventa. Segundo as palavras deste autor: "A companhia Stockholm Transport-ST está conduzindo um programa de testes em uma frota de 32 ônibus movidos a álcool. É, provavelmente, a maior e mais avançada frota de veículos pesados no mundo movida a etanol. Os testes, que começaram em abril de 1990, estão sendo conduzidos pela ST conjuntamente com a companhia SAAB-SCANIA e a Swedish Ethanol Foundation. O projeto está sendo financiado pelas agências governamentais suecas de Pesquisa em Transportes; de Desenvolvimento Tecnológico; de Energia Nacional e de Proteção ao Meio Ambiente".

Há alguns anos atrás a companhia Stockholm Transport adotou a política de reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio e de dióxido de carbono. Esta política definiu uma série de objetivos e os meios para atingí-los. Os objetivos são:

- i) Reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio em 30 por cento antes de 1995, em comparação com os níveis de emissão de 1980, e em 50 por cento antes do ano 2000; e
- ii) Não ultrapassar o nível de emissão de dióxido de carbono de 1988.

Os meios para se atingir estes objetivos prevêm:

- i) O consumo de óleo diesel de melhor qualidade em todos os veículos movidos a este combustível;
- ii) A utilização de bio-combustíveis em zonas críticas em termos de poluição; e
- iii) A utilização de veículos movidos a energia elétrica em zonas mais críticas.

Baseando-se nestas considerações a Stockholm Transport iniciou os seus testes com os veículos movidos a etanol (RYDEN, 1991). Baseando-se no texto deste autor, aspectos relevantes, para o entendimento da primeira etapa do programa de ônibus urbanos da ST, são descritos nos parágrafos seguintes.

O etanol utilizado na frota de teste da ST era produzido em 1991 em uma fábrica de papel localizada no norte da Suécia. O etanol era produzido a partir do licor negro ou lixívia, um rejeito da fabricação de celulose. O combustível era manufaturado e misturado na fábrica, a qual era, também, responsável pela sua composição e qualidade. Um caminhão, especialmente equipado, foi desenvolvido para o projeto e utilizado para fazer entregas regulares de etanol da fábrica para o depósito da frota de ônibus, que distam aproximadamente 700 km entre si.

O combustível teve que ser adaptado para adequar-se ao motor, de forma a minimizar as emissões de poluentes; garantir um bom desempenho do motor quando, por exemplo, começa a operar a frio e para manter um baixo custo de operação. O combustível era constituído por 95 por cento de E-95, 2 por cento de um agente desnaturante e 3 por cento do incrementador de ignição conhecido como Avocet, já comentado neste capítulo da tese.

A tabela 5.7 indica a composição do etanol utilizado pela companhia Stockholm Transport em seus ônibus a álcool. Note-se nesta tabela, que o uso do MTBE como agente desnaturante parece ser necessário no caso sueco, uma vez que o álcool E-95 produzido pela fábrica local, ao contrário do que ocorre no caso do E-95 americano, não é álcool anidro, pois o teor de água do etanol sueco é de 5 por cento. O Swedish Standardization Committee formou um grupo com a finalidade de padronizar um combustível para motores a etanol.

Um laboratório, muito bem equipado, foi construído de forma a estudar o desempenho desta frota e as suas emissões de poluentes. Este laboratório tem, por exemplo, as instalações e os equipamentos necessários para efetuar a aferição dos componentes das emissões dos veículos que são regulamentados por lei. Objetiva-se testar cada veículo da frota de ônibus a

etanol quatro vezes por ano. Os resultados destes testes permitem se conhecer as condições nas quais o motor do veículo está operando, as condições do sistema de alimentação de combustível, o comportamento do combustível sendo utilizado e o do sistema de catálise. O laboratório está localizado dentro do terminal de ônibus da companhia, ao lado do prédio de garagem(RYDEN, 1991).

Tabela 5.7 Composição do etanol utilizado pela companhia Stockholm Transport em sua frota de ônibus a álcool

PORCENTAGEM	COMPONENTE
95	E-95 (95% etanol e 5% água)
2	MTBE
3	Avocet

Fonte:(RYDEN, 1991)

Os 32 ônibus envolvidos no projeto foram todos manufaturados pela companhia SCANIA-BUS. Eles estão equipados com um motor diesel modelo DSI 11E Scania, que produz 184 kW a uma rotação de 2.000 rpm. O motor teve a sua taxa de compressão aumentada para 24:1, de forma a reduzir a proporção do aditivo no combustível, reduzindo consideravelmente, também, desta forma, o custo com o combustível.

O motor é refrigerado a ar. O formato da câmara de combustão, a pressão de injeção e o tempo de injeção, também foram adaptados para o uso do novo combustível. A bomba de injeção tem um sistema de lubrificação independente.

O etanol tem melhores características do que o óleo diesel no que diz respeito às emissões de óxidos de nitrogênio e de materiais particulados. Mesmo assim, os ônibus a álcool da ST são equipados com um catalizador oxidante, o que lhes permite a obtenção de um nível de emissão de particulados tão baixo quanto se eles utilizassem um filtro de particulados. O catalizador também reduz as emissões de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono a um mínimo. Isto possibilita ao motor níveis de emissão de poluentes 75 por cento menores do que os estabelecidos pela versão da norma ECE R49 vigente à época. A ECE R49 continuou a ser

aplicada na Europa, mas com atualizações, com relação à emissão de poluentes(RYDEN, 1991).

A tabela 5.8 fornece as emissões permitidas pela versão anterior a 1994 da norma ECE R49 e propicia uma comparação entre as emissões de poluentes produzidas por vários tipos de motores e ônibus, movidos a óleo diesel, etanol e gás natural.

Tabela 5.8 Emissões de vários tipos de motores e ônibus, bem como de alguns combustíveis, considerados pelo programa de combustíveis alternativos na Suécia para redução das emissões de poluentes por veículos pesados.

Veículo/Motor	NOx, em g/kWh	HC, em g/kWh	CO, em g/kWh	Particulado, em g/kWh
Ônibus típico em serviço	16,0	1,0	1,5	0,6
Melhor ônibus atualmente	9,0	0,4	0,6	0,3
Ônibus a óleo diesel sem enxofre e com catalizador	6,3	0,1	0,1	0,1
Motor a etanol c/ catalizador	4,5	0,2	0,1	0,05
Motor a etanol em testes de laboratório	2,0	0,2	0,1	0,05
Motor a gás natural em desenvolvimento, com catalizador de três vias	2,0	1,0	1,0	0,05
Norma ECE R49	18,0	3,5	14,0	-

Fonte:(RYDEN, 1991)

Até 1991 alguns ônibus movidos a etanol na cidade de Estocolmo já haviam sido utilizados por cerca de 24.000 km, enquanto outros foram utilizados por cerca de apenas 4.000 km. Após nove meses e cerca de 459.000 km rodados pela frota de ônibus a etanol, observou-se que o consumo médio da frota de ônibus movida a etanol era, em termos de litros de combustível por quilômetro rodado, 1,76 vezes maior que o consumo médio de todos os ônibus diesel da Stockholm Transportation. Durante este período de nove meses ocorreu apenas uma falha relacionada com o uso do novo combustível, um vazamento de combustível numa junta de conexão(RYDEN, 1991).

É possível se observar, na tabela 5.8, que, com excessão das emissões de NOx, que são menores no caso do motor a gás natural em desenvolvimento, as emissões do motor diesel movido a etanol em operação comercial normal apresenta um nível de emissões de poluentes muito baixo, na realidade, bem abaixo do exigido pela versão da norma européia ECE R49 vigente em 1991.

Observou-se a presença de um cheiro de vinagre nos gases dos escapamentos de alguns ônibus. Investigações mostraram que os injetores de combustível estavam apresentando vazamento e, em janeiro de 1991, trocou-se os injetores de todos os ônibus que haviam apresentado este problema.

Descobriu-se que há alguma coisa no combustível que forma uma cobertura nas superfícies das agulhas dos injetores. Até que este problema do combustível seja resolvido, os injetores de todos os ônibus que apresentarem este tipo de problema serão substituídos.

Com relação ao exposto por Ryden (1991), não se pode deixar de fazer algumas comparações entre os programas sueco e americano para a utilização de etanol em motores diesel. Primeiro, observa-se que na Suécia optou-se pelo uso de um aditivo para aumentar a capacidade de ignição do combustível, o qual apresenta uma grande quantidade de água no etanol que o compõe, 5 por cento. No caso americano o etanol utilizado para formar o E-95 é o álcool anidro.

É provável que esta enorme quantidade de água ajudou na ocorrência de um consumo mais elevado de etanol no caso sueco, em comparação com o caso americano. É conveniente lembrar-se aqui, por exemplo, que os quatro caminhões a etanol com motores da DDC, operados pela companhia ADM, percorriam, em média, 4 milhas/galão de etanol, enquanto o caminhão utilizado como referência percorria 5,3 milhas/galão de óleo diesel, bem como que a frota de ônibus urbanos a etanol da cidade de Peoria percorria, em média, 4,18 milhas/galão de etanol, enquanto que a média da frota de ônibus a óleo diesel daquela cidade era de 3,4 milhas/galão de óleo diesel.

Ou seja, enquanto no caso da Stockholm Transportation/Scania, Suécia, a relação volume de etanol/volume de óleo diesel pela mesma unidade de distância percorrida é de 1,76, no caso de Peoria/DDC, Estados Unidos, esta relação cai para 1,50 e, no caso da ADM/DDC, Estados Unidos, esta relação cai mais ainda, chegando a 1,33. Além do combustível, o sistema de injeção eletrônico computadorizado da DDC sem dúvida deve ter tido um bom peso para que ocorresse tal redução no consumo. Esta foi, também, a explicação mais plausível encontrada por Marek, Brown & Weinzierl (1993), pois, conforme sua afirmação anterior

neste texto: "... mas é mais provável ainda que este aumento na eficiência seja devido aos modernos controles eletrônicos instalados nos motores DDC 6V-92TA e às próprias características do combustível, o E-95".

Uma outra observação é que os ônibus novos da DDC não precisam operar com o auxílio de um "ignition-improver", o que reduz o custo de operação da frota, ao contrário do que ocorre no caso da Suécia. Como os ônibus da Scania parecem não apresentar um plug de aquecimento, é quase que indispensável o uso de um aditivo para partida a frio, mesmo que o etanol utilizado na Suécia tivesse o seu teor de água bastante reduzido.

Contudo, com relação ao custo do álcool e de um aditivo elevador de cetanagem para operar uma frota de veículos com motores diesel movidos a álcool, Short, Betton & Antonio (1991) afirmam: "O uso de um combustível a base de Avocet e álcool, em substituição ao óleo diesel, em motores a ignição por compressão, é uma forma de se atender aos limites de emissões de poluentes estabelecidos pela EPA para motores de dois e de quatro tempos, seja em motores novos ou em motores convertidos. A sua economicidade depende do custos relativos do álcool e do óleo diesel. No curto prazo o álcool deverá custar, provavelmente, entre 50 e 100 por cento a mais que o óleo diesel. Contudo, uma vez que o combustível representa apenas de 5 a 10 por cento do custo total de se operar uma frota de ônibus, mesmo no curto prazo a opção pelo uso de álcool elevaria o custo total de operação da frota em apenas 2,5 a 10 por cento".

A questão dos injetores também deixou de ser um problema no caso americano, enquanto que, do texto de Ryden, infere-se que, até 1991, este problema não havia, de modo algum, sido solucionado para a frota de ônibus com motores diesel movidos a etanol da Suécia.

A despeito destes problemas, tanto nos EUA como na Suécia o uso de etanol em motores diesel dá mostras claras de ser um meio extremamente eficaz de se combater o grande problema que tem se tornado a poluição urbana. Levando em conta esta necessidade de redução dos níveis de emissão de poluentes, o programa da Suécia teve prosseguimento, conforme se pode depreender dos relatos de Berg (1993), sintetizados nos parágrafos a seguir.

No início dos anos noventa Estocolmo tinha a maior frota do mundo de ônibus movidos a etanol. Em 1993 outros 20 ônibus estavam previstos para entrar em operação, elevando o total de veículos desta frota para 52.

O combustível teve que ser alterado para uma melhor adaptação ao motor, para diminuir as emissões, garantir uma boa performance sob baixas temperaturas e para minimizar os custos. A tabela 5.9 indica a nova composição do combustível.

Tabela 5.9 Nova composição do etanol utilizado pela companhia Stockholm Transport

COMPONENTE	PROPORÇÃO (%)
E-95 (95% etanol e 5% água)	95
MTBE e Isobutanol	3
Avocet	2

Fonte:(BERG, 1993)

Após cerca de 3 anos em operação, a frota de ônibus a etanol da Stockholm Transport havia rodado, no total, mais de 2 milhões de quilômetros. Desta forma, pode-se dizer que a companhia já detém um razoável conhecimento sobre o tipo de combustível a ser utilizado e suas características quanto ao consumo. A tabela 5.10 fornece algumas informações a este respeito(BERG, 1993).

Tabela 5.10 Histórico do consumo dos ônibus da companhia Stockholm Transport

Tipo de Ônibus	Consumo de Óleo Diesel, em l/km	Consumo de Etanol, em l/km
O pior ônibus	0,625	1,077
O melhor ônibus	0,529	0,892
O ônibus médio	0,574	1,013

Fonte:(BERG, 1993)

Seis ônibus foram completamente testados quanto às suas emissões de poluentes, regulamentadas por lei ou não. Os testes foram realizados pelo Swedish Motor Testing Center e alguns dos resultados estão apresentados nas tabelas 5.11 e 5.12.

Tabela 5.11 Emissões dos ônibus a etanol da companhia Stockholm Transport que são regulamentadas pela versão de 1994 da norma ECE R49

Tipo de poluente emitido	Norma ECE R49, de 1994, em g/kWh	Metas para o etanol, em g/kWh	Valores médios obtidos, em g/kWh
NOx	9,0	4,5	3,2
CO	5,0	0,1	0,28
HC	1,2	0,2	0,09
Particulados	0,4	0,05	-

Fonte:(BERG, 1993)

Comparando-se a versão da norma ECE R49 vigente no início da década de noventa, expressa na tabela 5.8, com a versão desta mesma norma vigente em 1994, expressa na tabela 5.11, nota-se que os valores máximos permitidos para as emissões dos poluentes regulamentados baixaram em 1994, de uma forma geral, para cerca de um terço dos valores permitidos em 1990. Mesmo assim, os ônibus a etanol continuam atendendo folgadoamente a nova versão da norma. Além disso, houve uma redução significativa nas emissões dos ônibus a etanol observadas por Berg (1993), quando comparadas às emissões relatadas por Ryden (1991). Em termos de g/kWh, as emissões de NOx baixaram de 4,5 para 3,2, as de HC caíram de 0,2 para 0,09, e as de materiais particulados de 0,05 foram praticamente parar em zero. As emissões de CO, contudo, subiram de 0,1 para 0,28, muito abaixo, porém, do valor máximo permitido pela nova versão da norma ECE R49, que, conforme pode ser observado na tabela 5.11, é de 5,0 g/kWh. Os dados da tabela 5.12 complementam os da tabela 5.11 no que se refere à emissões não regulamentadas pela norma ECE R49.

Além da cidade de Estocolmo, havia dois ônibus movidos a etanol que em 1993 já estavam rodando a quatro anos na cidade de Ornskoldsvik, ao norte da Suécia. O propósito deste projeto era o de se determinar a confiabilidade do motor a ignição por compressão

movido a etanol e, também, o uso de diferentes aditivos incrementadores de ignição. Naquele ano, outros quatro ônibus seriam acrescentados a esta frota. Até então, não existiam resultados publicados destes testes(BERG, 1993).

Tabela 5.12 Emissões, em mg/km (fora indicação em contrário), dos ônibus a etanol da companhia Stockholm Transport que não são regulamentadas pela norma ECE R49

Tipo de Emissão	Scania DSC 1104(Diesel)	Scania DSI 11E(Etanol)
Formaldeídos	68 - 290	9 - 12
Acetaldeídos	19 - 80	24 - 62
Metanol		41 - 54
Etanol		83 - 154
Metilnitrato(micro g/km)		6 - 9
Eteno	36 - 110	-
Propileno	8 - 12	-

Fonte:(BERG, 1993)

Existia, também, uma frota de dez ônibus convertidos para uso de etanol, e de mais cinco ônibus novos usando este combustível, nas cidades de Skovde e Mariestad, no extremo oeste da Suécia.

A segunda frota de ônibus a etanol no mundo em 1993, segundo Berg, com quinze ônibus, estava sendo operada pela companhia Lanstrafiken, em Skaraborg, na Suécia. Testes de desempenho da frota estavam sendo conduzidos pela Lanstrafiken, juntamente com a Scania e com a Fundação Sueca de Etanol. O suporte financeiro para este projeto era fornecido pela Transport Research Board, uma das agências do governo sueco que são responsáveis pelo setor de transportes no país. Os objetivos deste projeto eram:

- i) Estabelecer os custos reais de operação de uma frota a etanol, bem como avaliar novas técnicas e necessidades de infraestrutura;
- ii) Determinar e comparar as emissões de poluentes do etanol e do óleo diesel, tanto as regulamentadas quanto algumas não regulamentadas; e
- iii) Aperfeiçoar o motor e outros componentes relacionados ao consumo do etanol, além de estabelecer melhores especificações para o combustível(BERG, 1993).

Para permitir a realização dos testes, que se iniciaram em 1 de junho de 1993, com a duração de três anos, bem como suportar a operação dos ônibus, construiu-se duas estações especiais de reabastecimento. Um caminhão tanque transporta o combustível de uma fábrica na região nordeste da Suécia. As taxas de consumo de combustível e os custos de operação estavam sendo levantados para estes dados serem comparados com os obtidos para se operar uma frota com ônibus operando com óleo diesel. Os testes das emissões dos veículos seriam realizados pela Swedish Automobile Testing Laboratories e avaliações médicas pelo Karolinska Institute.

Havia na cidade de Estocolmo, também, um estudo sobre a possibilidade do uso de etanol em caminhões para transporte de lixo, com um projeto em andamento, para fins experimentais, envolvendo um caminhão. A companhia revendedora de veículos Cania, juntamente com a companhia SKAFAB, que é a responsável pelo transporte de todo o lixo de Estocolmo, estavam conduzindo este projeto. A previsão era de que o caminhão estivesse em operação no começo de 1994(BERG, 1993).

Na Suécia, além dos testes de campo com frotas de veículos utilizando motores diesel adaptados para o uso de etanol, existe ainda, segundo Bucksch (1993), suporte financeiro governamental para o desenvolvimento de motores de ônibus próprios para operarem com etanol, sendo feito no Lulea Institute of Technology. O mesmo ocorrendo com motores para caminhões, o que estava sendo feito no Chalmers Institute of Technology.

Havia, também, em 1993, pesquisas sendo realizadas para o desenvolvimento de aditivos para melhorar a ignição do etanol, no Berol Nobel AB e no Chalmers Institute of Technology, e, ainda, pesquisas sobre novos tipos de catalizadores no Royal Institute of Technology, em Estocolmo(BUCKSCH, 1993).

Várias agências governamentais, junto com empresas privadas, planejavam um estudo a ser realizado conjuntamente, considerando vários cenários, a respeito do uso, produção e distribuição de álcool carburante, sendo que este estudo deveria começar em 1993 e estar pronto em 1994. Adicionalmente, um estudo das leis da Suécia e das regulamentações com respeito ao uso de álcool carburante naquele país foi completado no começo de 1993. Os resultados demonstraram que:

- i) Não havia necessidade, até aquele momento, de novas leis ou regulamentações; e
- ii) As leis e regulamentações correntes não representavam um impedimento para o uso de álcool carburante no país(BERG, 1993).

Em 1991 o Parlamento Sueco designou a Swedish Transport and Communications Research Board-KFB para realizar um amplo programa de pesquisa e desenvolvimento com relação ao uso do álcool como combustível. O financiamento previsto era de aproximadamente 4 milhões de dólares por ano, por um período de quatro anos. Foi dada prioridade ao etanol com origem na biomassa e ao uso de veículos pesados em áreas urbanas(BUCKSCH, 1993).

Os objetivos fixados para este programa foram:

- i) Desenvolver, testar e avaliar tecnologias para o uso do álcool como um combustível carburante;
- ii) Encorajar produtores e usuários a participar nos projetos de desenvolvimento e de demonstração;
- iii) Aumentar o nível de conhecimento a respeito da utilidade, dos custos e dos efeitos ambientais do uso do álcool carburante no longo prazo; e
- iv) Determinar se, e em que medida, o álcool carburante pode ser utilizado em larga escala no país(BUCKSCH, 1993).

A KFB deve priorizar a produção de álcool a partir da biomassa, já que existe biomassa em abundância a partir de florestas na Suécia. Inicialmente enfatizou-se o uso de álcool puro, devido aos problemas ambientais nas áreas urbanas, onde o uso de álcool puro poderia levar a grandes melhorias à saúde pública e ao meio ambiente(BUCKSCH, 1993).

Contudo, será necessário um longo tempo para que uma tecnologia inovadora, que, entre outras coisas, exige motores inteiramente novos, cause algum efeito. Desta forma, até que motores e veículos operando com puro etanol surjam no mercado em quantidade suficiente, a idéia de se utilizar um mix de combustíveis tomou corpo na Suécia. Ao mesmo tempo deu-se, naquele país, bastante ênfase às emissões de CO₂. A proposta do parlamento sueco enfatizou a importância de se reduzir as emissões de CO₂, sendo que, com relação a esta questão, a possibilidade de adição de álcool aos derivados de combustíveis fósseis se torna muito atraente, uma vez que se trataria da maximização da adição de álcool, com origem na biomassa, em sistemas de propulsão já existentes. A forma mais rápida de se atingir este objetivo é iniciar-se a adição de álcool no óleo diesel e na gasolina imediatamente(BUCKSCH, 1993).

É preciso lembrar-se de que quando Bucksch (1993) se refere à maximização do uso de etanol em combustíveis formados juntamente com a gasolina ou o diesel, ele se refere especialmente às zonas urbanas com problemas ambientais, e não à Suécia como um todo.

Um maior uso de bio-combustíveis em carros, caminhões e ônibus é uma importante forma de se reduzir as emissões de poluentes pelos veículos. Isto é especialmente verdade para o dióxido de carbono, mas outros poluentes existentes nas emissões dos escapamentos dos veículos também podem ser atingidos. O uso de bio-combustíveis para este propósito aumentaria consideravelmente através da introdução do etanol no óleo diesel e a produção do combustível resultante é tecnicamente viável. Existe a possibilidade de se introduzir etanol até uma proporção de 15 por cento no óleo diesel e de se oferecer o combustível resultante ao mercado após o término de uma série de estudos introdutórios e de testes de campo (BERG, 1993).

A Swedish Communication Research Board designou a Swedish Ethanol Foundation para desenvolver um vasto programa sobre a mistura etanol/diesel, e como impedir a separação das fases. O programa é dividido em três partes e a parte um apenas acabou de se iniciar em 1993 (BERG, 1993).

Os testes de laboratório seriam efetuados em parceria com universidades da Suécia e envolveriam estudos sobre as características de diferentes concentrações de óleo diesel, etanol e emulsão. É prevista, também, a utilização de um motor de um único cilindro para se pesquisar o atraso no tempo de ignição do motor, o consumo de combustível e as emissões de poluentes das diferentes misturas. De forma a assegurar uma lubrificação adequada no sistema de combustível, previu-se a realização de testes com bombas injetoras e injetores apropriados (BERG, 1993).

Os veículos seriam testados com um chassis-dinamômetro, de forma a avaliar a sua dirigibilidade enquanto estivessem operando com o novo combustível. Ao mesmo tempo, seriam efetuados os testes de emissões de poluentes. Uma pequena frota de veículos seria posta em serviço para avaliar a infra-estrutura, a questão do reabastecimento, da manutenção e outras questões. Após a obtenção dos resultados da primeira parte do programa, seria tomada a decisão de se continuar ou não com as outras partes do mesmo, que incluiriam testes em grandes frotas, a otimização da mistura e testes de emissões de poluentes com a mistura otimizada (BERG, 1993).

Finalizando a análise do programa sueco, é interessante notar-se que, como já foi mostrado anteriormente, embora este tenha um maior número de veículos com motores diesel operando com etanol do que o programa similar nos Estados Unidos, os veículos americanos apresentam um desempenho melhor no que se refere ao seu consumo de combustível. Os veículos da DDC, também, prescindem de qualquer tipo de "ignition-improver" para operarem

e estão, além disso, equipados com injeção eletrônica controlada por computador. No programa sueco, por outro lado, se tem utilizado um resíduo de plantas de celulose - a lixívia - para se produzir etanol, diferente do caso americano onde se obtém este combustível a partir do milho. Não foi possível se obter os custos de produção do etanol na Suécia a partir da lixívia. Porém, mesmo que eles sejam menores que os correspondentes americanos, uma expansão no programa sueco levaria, inevitavelmente, pelo que foi possível apurar, a uma produção de etanol a partir de madeira, que tende a apresentar um custo de produção maior do que o custo de produção a partir do milho, o qual, em comparação com o custo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, conforme já se comentou anteriormente neste texto, já é, por si só, bem maior.

Com relação ao uso da mistura etanol/óleo diesel, enquanto na Suécia pesquisava-se a formação de um novo combustível a partir do álcool e do derivado de petróleo, na Índia o uso da mistura etanol/óleo diesel já é uma realidade; a mistura é obtida através do processo de fumigação. Os dois programas indianos para o uso de etanol em motores diesel, analisados a seguir, apresentam, também, outras particularidades que os distinguem claramente dos programas similares existentes nos EUA e na Suécia.

5.3.4 Uso de Etanol em Motores Diesel na Índia

O setor de transportes consome cerca de 75 por cento do óleo diesel e quase toda a gasolina na Índia. Mesmo com o país mantendo esforços tanto para o crescimento da produção interna de petróleo quanto para a sua conservação, ele continuou a importar quantidades crescentes deste energético e de seus derivados durante os anos noventa, onerando fortemente a sua reserva de divisas. As metodologias baseadas em gerenciamento da demanda, medidas fiscais e de conservação, com a finalidade de minorar a situação descrita acima, têm alcance limitado. Um impacto positivo significativo neste quadro só pode ser alcançado através de uma substituição de derivados de petróleo. Neste contexto, o álcool está à espera de sua introdução em larga escala (GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

A Índia é um dos maiores produtores de açúcar no mundo, contudo, a existência de uma vasta população leva o país a realizar importações esporadicamente. A Índia produz cerca de 800 milhões de litros de álcool por ano. A produção em 1990 deveria ser superior a 900

milhões de litros. Esta produção crescia a uma taxa de cerca de 6 por cento nos últimos anos e esperava-se que ela viesse a crescer mais rapidamente, a uma taxa de cerca de 8 por cento ao ano, igual à encontrada na produção de açúcar. O etanol na Índia é produzido inteiramente a partir do melaço da cana-de-açúcar. Cerca de 90 por cento do melaço no país é direcionado para a produção de etanol. No entanto, cerca de 95 por cento de todo o álcool produzido na Índia é utilizado na fabricação de bebidas alcoólicas (CRIPPS, DEODHAR, SHINAGARE & RAVISHANKAR, 1991).

O Indian Institute of Petroleum-IIP, após considerar várias alternativas, decidiu-se pelo uso de álcool misturado ao óleo diesel. O IIP desenvolveu a sua própria tecnologia através de testes em uma frota com mais de 60 veículos com motores diesel consumindo este tipo de combustível, sendo que os veículos, pertencentes à companhia State Transport Undertakings, já haviam percorrido, até 1993, mais de 5.000.000 km, no transporte de passageiros (GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

Uma parcela desta frota de 60 ônibus utiliza o etanol como o combustível adicionado ao óleo diesel, enquanto a outra utiliza o metanol na mistura com o óleo diesel. No caso do metanol, adicionou-se ao mesmo aditivos que lhe deram coloração, odor e sabor, para permitir o seu uso de uma forma mais segura ao ser humano.

Para o uso de álcool em motores diesel o IIP desenvolveu um kit de conversão que possui as seguintes características:

- i) A alimentação do combustível ocorre através de um processo de fumigação em um carburador simplificado;
- ii) A operação deste sistema se inicia a um nível de carga de aproximadamente 35 por cento, para se evitar a parada brusca do processo de combustão;
- iii) O sistema apresenta uma grande flexibilidade para efetuar mudanças no ponto de carga do motor; e
- iv) Trata-se de uma sistema mecânico simples, que requer pouca manutenção (GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

A média de consumo da frota de ônibus a álcool/óleo diesel foi de 3,21 km/l, enquanto que a frota de ônibus movida a óleo diesel apresentou um consumo de 3,14 km/l. A frota de ônibus a álcool/diesel tem sido monitorada mês a mês, foram encontradas variações no consumo específico da mistura em função do número de passageiros transportados, da rota, bem como dos motoristas e dos seus hábitos na condução dos veículos (GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

A substituição do óleo diesel pelo álcool em termos energéticos foi de 12,8 por cento, enquanto que numa base volumétrica ela foi de 14,9 por cento. Isto indica uma eficiência térmica mais elevada do motor consumindo a mistura (GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993)

Na realidade, ao se efetuar os cálculos para se averiguar este aumento na eficiência térmica, de acordo com os dados fornecidos por Gandhi, Singhal & Aigal (1993), verifica-se que este aumento é tão pequeno que torna-se desprezível, se é que se pode realmente afirmar que houve uma melhora na eficiência energética dos ônibus a etanol/óleo diesel como um todo, em comparação aos ônibus movidos apenas a óleo diesel. Mais correto é afirmar-se que, energeticamente, a operação dos dois tipos de ônibus é praticamente equivalente.

Gayen (1993), que observou uma outra frota, de 25 ônibus consumindo a mistura etanol/óleo diesel, pertencente à companhia Delhi Transportation Corporation-DTC, relata que as proporções volumétricas de etanol e de óleo diesel na mistura, assim com os consumos dos ônibus movidos a etanol/óleo diesel e os seus similares movidos apenas a óleo diesel, apresentam resultados que equivalem aos encontrados por Gandhi, Singhal & Aigal (1993).

Baseando-se nos dados do caso específico dos ônibus a metanol/óleo diesel da companhia Delhi Transportation Corporation, pode-se afirmar que houve um incremento significativo na eficiência térmica com o uso do álcool, mas, por alguma razão não relatada por Gayen (1993). Este aumento na eficiência térmica parece existir, de fato, pois muito embora o metanol apresente um conteúdo energético bem inferior ao óleo diesel e ao próprio etanol, conforme já foi visto, ônibus similares movidos a óleo diesel ou a metanol/óleo diesel apresentaram quase que o mesmo consumo por km percorrido. Na bibliografia consultada não se encontrou nenhum fato similar no programa americano, quando se trata de comparação entre os desempenhos do etanol e do metanol quando movimentando, individualmente, ônibus ou caminhões. As explicações para o caso da DTC, contudo, podem ser várias, como, por exemplo, o fato de que os ônibus movidos a metanol/óleo diesel ou apenas a óleo diesel, da companhia Delhi Transportation Corporation, talvez não fossem tão similares assim para terem sido confrontados numa comparação, ou que suas rotas ou cargas médias apresentassem características bem distintas, ou, ainda, que os ônibus a metanol/óleo diesel, por estarem sob maior atenção, foram muito melhor regulados.

Com relação aos ônibus movidos a etanol/óleo diesel da companhia State Transport Undertakings, a sua dirigibilidade foi avaliada numa escala de 0 a 10, de acordo com parâmetros estabelecidos através de normas da IIP. Os ônibus foram avaliados quanto a seu comportamento durante o aquecimento após a partida a frio, durante a sua operação normal

nas rotas usuais, bem como nas suas partidas a quente após ligeiro repouso ao final de um dos vários percursos diários. Os ônibus a etanol/óleo diesel obtiveram notas entre 9 e 10, o que mostra sua alta aceitação em termos de dirigibilidade nesta avaliação. Não foram feitas observações negativas quanto ao seu desempenho em comparação aos ônibus a diesel, à exceção de um ligeiro esforço adicional para se pressionar o acelerador dos ônibus a etanol/óleo diesel, uma vez que o medidor do etanol enviado ao motor estava diretamente ligado ao pedal(GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

Os componentes dos motores em contato com a mistura etanol/óleo diesel foram analisados visualmente quanto ao aparecimento de ferrugem, desgaste de superfície e qualquer mudança de propriedade. Encontrou-se filtros das bombas de álcool com presença de contaminantes variando entre 10 e 70 por cento. O material de solda utilizado nos filtros foi dissolvido, assim como a sua peneira de fios metálicos, bem como molas e outros componentes feitos de aço liga foram corroídos. O sistema de medição e controle do fluxo de álcool, incluindo a montagem tipo jato-venturi, feitos de aço inoxidável, não apresentaram danos. Um anel de vedação, feito de borracha e que era utilizado na capa do filtro da bomba de álcool, endureceu. Similarmente, um tubo reforçado de nylon, utilizado no sistema de alimentação do combustível, foi encontrado semi-endurecido.

Os tanques de combustível foram cortados para uma avaliação da presença de depósitos, notadamente devido à ferrugem. O tanque de etanol obteve uma avaliação igual a 4, numa escala que vai de 0 até 10, o que é comparável à avaliação do tanque de óleo diesel, que foi igual a 5,3. Não se observou efeitos nocivos no desempenho do motor, devido à presença destes depósitos, nos testes com os ônibus(GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

Cerca de 75 por cento do consumo total de diesel, que é cerca de 23 milhões de toneladas por ano, e quase toda a gasolina, cerca de 3,6 milhões de toneladas por ano, são utilizados na Índia no setor de transportes. A alta demanda por diesel gera, na Índia, um modelo bastante diferenciado de consumo de combustível. Um impacto significativo na redução de importações só pode ser alcançado através da inter-substituição de combustíveis. As alternativas viáveis de substitutos de derivados de petróleo utilizados no setor de transportes devem atender aos critérios de serem técnica e ambientalmente aceitáveis, economicamente competitivos e de fácil disponibilidade(GANDHI, SINGHAL & AIGAL, 1993).

Os alcoóis, devido ao seu baixo número de cetanas e a alta temperatura necessária para a sua auto-ignição não são considerados apropriados para os motores a diesel, a não ser que

ou o combustível ou o motor sejam modificados de forma a se tornarem compatíveis entre si. Além disso, o álcool e o diesel também não são miscíveis entre si, de forma que não formam uma só fase quando misturados. Por estes motivos, o conceito de fumigação foi o escolhido para promover a mistura do álcool carburante com o óleo diesel nos motores diesel indianos(GAYEN, 1993).

No processo de fumigação, amplamente descrito na literatura, o álcool é introduzido através da tubulação de entrada de ar. O óleo diesel injetado age como uma fonte piloto para a mistura de álcool e ar. A combustão resultante é uma combinação de óleo diesel queimando em difusão com o álcool pré-misturado em combustão. A quantidade de combustível fumigado é limitada pelo atraso na ignição e pela combustão incompleta a cargas parciais, além de uma combustão com batimento na carga máxima. Este sistema tem o mérito de que o motor convencional, a óleo diesel, pode ser convertido facilmente, o custo da conversão é relativamente baixo e o sistema apresenta um razoável controle da proporção de álcool e óleo diesel a ser alimentada(GAYEN, 1993).

Para se verificar a viabilidade da utilização de álcool combustível em veículos com motores diesel através deste sistema, dois projetos foram empreendidos pela companhia DTC, conforme comentado anteriormente nesta seção. Em um deles 10 ônibus da companhia Delhi Transportation Corporation foram utilizados para testar a sua operação com a mistura metanol/óleo diesel durante 1988-89, enquanto no outro, 25 ônibus desta companhia foram operados com a mistura etanol/óleo diesel durante 1990-91(GAYEN, 1993)

Foram realizados exames e medições nos componentes dos motores tanto no início quanto no final dos testes, com a finalidade de se encontrar possíveis desgastes ou depósitos devido ao uso. Com relação ao uso de metanol, 8 ônibus da frota de 10 foram convertidos para o uso do combustível metanol/óleo diesel, enquanto dois continuaram operando apenas com óleo diesel para fins de comparação. No caso do etanol, 25 ônibus foram convertidos para operarem a etanol/óleo diesel. Após a conversão e testes iniciais, todos os ônibus foram postos para operarem normalmente no transporte de passageiros. Os motores e equipamentos adicionais envolvidos foram cuidadosamente ajustados, quando necessário, de forma a otimizar e dar um desempenho consistente aos veículos. As emissões visíveis dos veículos também foram monitoradas(GAYEN, 1993).

Após a conclusão dos dois projetos, pode-se afirmar que a operação dos ônibus consumindo óleo diesel com álcool foi demonstrada com sucesso. No caso do uso do metanol, os 10 ônibus rodaram um total de 643.000 km, enquanto os 25 ônibus empregando a mistura

etanol/óleo diesel rodaram um total de 2.100.000 km, nos biênios 1988/89 e 1990/91, respectivamente. Uma média de 14 a 14,9 por cento de substituição de óleo diesel foi atingida. Houve uma redução de cerca de 30 por cento na emissão de fumaça visível por estes ônibus, o que leva a um meio ambiente mais limpo. Parâmetros operacionais como a degradação do óleo, o desgaste do motor e a formação de depósitos foram comparáveis com a operação somente com óleo diesel. Com ambas as misturas, metanol/óleo diesel e etanol/óleo diesel, observou-se um aumento marginal na eficiência térmica dos motores³. Precauções apropriadas referentes à segurança e à saúde humana foram tomadas no caso do manuseio do metanol, tendo em vista a sua toxicidade. Para tanto, o treinamento do pessoal envolvido com este tipo de trabalho foi uma das prioridades do programa (GAYEN, 1993).

Note-se que, ao contrário dos EUA e da Suécia, aparentemente não houve uma grande participação direta do governo indiano no estabelecimento dos dois programas. Um dos programas, o da companhia Delhi Transportation Corporation, foi, inclusive, desativado em 1991. Não houve, também, a introdução de maiores inovações tecnológicas nestes ônibus, além do já conhecido processo de fumigação, o qual apresentou resultados positivos no caso indiano.

Também é interessante observar que, enquanto nos Estados Unidos e na Suécia a proporção de etanol na mistura queimada nos motores diesel analisados chegou a atingir mais de 90 por cento, no caso indiano esta participação esteve por volta dos 14 por cento, em volume. Desta forma, dos programas aqui analisados, aqueles desenvolvidos na Suécia e nos EUA são mais eficazes no combate às emissões de gases poluentes que os desenvolvidos na Índia.

O projeto do IIP alcançou o seu principal objetivo, ou seja, demonstrou a viabilidade técnica da substituição, em uma frota de ônibus com motores diesel, de parte do óleo diesel consumido por álcool. Isto é especialmente interessante em um caso crítico como o indiano, que apresenta uma alta demanda por aquele derivado de petróleo. Contudo, resta a pergunta, que não é possível de se responder aqui com os dados disponíveis, de ser ou não a opção tecnológica indiana a mais interessante sob o ponto de vista econômico para se efetuar esta substituição de energéticos. O custo de produção do etanol a partir do melaço da cana-de-açúcar na Índia, por outro lado, deve ser bem inferior aos custos de produção do etanol nos

³Ao não fazer quaisquer comentários adicionais sobre o caso do aparente sensível aumento da eficiência térmica no caso da operação dos ônibus a metanol/diesel, Gayen (1993) assume a decisão de considerar este aumento marginal. Talvez deve-se atribuir, isto sim, este aumento a causas marginais, ou seja, não consideradas explicitamente no projeto e, portanto, não avaliadas.

Estados Unidos e na Suécia, o que talvez viesse a viabilizar a expansão do programa indiano se houvesse um maior envolvimento do governo daquele país.

5.4 O Uso do ETBE e do MTBE como Aditivos à Gasolina

Tanto nos EUA quanto na Europa, o metanol, o MTBE e o etanol têm sido os principais aditivos utilizados na gasolina, substituindo o outrora popular mas perigoso chumbo, como agentes incrementadores da octanagem da gasolina. Todos eles contêm oxigênio e, além de aumentarem esta octanagem, reduzem sensivelmente a emissão de diversos poluentes.

A participação de metanol, etanol ou MTBE na gasolina varia grandemente, inclusive entre regiões de um mesmo país. Nas gasolinas especiais, muitas vezes conhecidas pelo nome genérico de "gasolina premium", é tomado, contudo, um cuidado particular com a constância das propriedades físico-químicas das mesmas(SINÍCIO & BAJAY, 1994b).

Recentemente, tanto na Europa, sobretudo na França, como nos EUA, tem ocorrido a produção em escala comercial de um outro aditivo à gasolina com finalidades semelhantes, o ETBE. Este éter é produzido principalmente a partir do etanol. Novas tecnologias, subsídios, bem como disponibilidades localizadas de etanol a custo reduzido são os principais fatores que contribuíram para este cenário(SINÍCIO & BAJAY, 1994b).

A difusão de carros com injeção eletrônica no Brasil levará à formação de uma frota nacional de veículos com características de consumo bem diferentes da atual. Um combustível de melhor qualidade, de propriedades mais constantes, associado a uma frota nacional mais eficiente, diminuirá o consumo nacional médio de combustível por quilômetro rodado e diminuirá substancialmente os impactos ambientais causados pelas emissões de poluentes desta frota.

Recentemente, acordos firmados no GATT e na União Européia conduziram a uma política agrícola que levará a França a deixar de cultivar cerca de 1,5 milhões de hectares para a produção de alimentos a preços subsidiados. Por outro lado, estudos mostraram que o plantio de beterraba, trigo ou milho em 1 milhão de hectares pode produzir etanol e/ou ETBE e éter para substituir 5 por cento do total da gasolina e do óleo diesel consumidos atualmente na França(LEROUDIER, 1993).

Desta forma, o plantio de lavouras energéticas nestas áreas poderia diminuir as pressões políticas produzidas pelos agricultores franceses sobre o governo, diante da consumação do corte de subsídios governamentais à produção de alimentos, devido aos acordos internacionais firmados pela França.

Em janeiro de 1992 o governo francês deixou de cobrar sobre os bio-combustíveis os impostos que cobra sobre os combustíveis convencionais. Como resultado, a atratividade econômica da mistura etanol/gasolina aumentou e a conversão de etanol em ETBE se tornou particularmente interessante(LEROUDIER, 1993).

A companhia de petróleo francesa Total começou a vender cerca de quatro milhões de litros por ano de uma mistura contendo 5 por cento de etanol na gasolina em 40 postos na área de Reims, Paris. Outra empresa de petróleo francesa, a Elf, por outro lado, já está produzindo ETBE a partir de etanol em larga escala na sua refinaria de Feyzin, na cidade de Lion, consumindo mais de trinta e cinco milhões de litros de etanol por ano(LEROUDIER, 1993).

A companhia Elf esteve testando o ETBE como um aditivo por vários anos. Então, ela construiu uma planta com a capacidade de 75.000 toneladas/ano em Feyzin, perto de Lion, usando etanol proveniente de beterraba como matéria prima. Vendas da nova mistura, gasolina e ETBE, iniciaram-se localmente, mas já são realizadas em outras áreas populosas perto de Paris. A companhia desistiu de importar MTBE, o que vinha fazendo desde 1986, por conta de seu novo empreendimento(INTERNATIONAL GAS REPORT,1993).

A empresa ARCO também está estudando a possibilidade de produzir ETBE, ao invés de MTBE, em quantidades muito maiores, mas a sua decisão ainda depende da evolução futura do mercado de éteres(LEROUDIER, 1993).

O ETBE, como o MTBE, além de ser bom para aumentar a octanagem da gasolina, é um oxigenado que melhora a combustão e a qualidade do ar, sendo, provavelmente, ligeiramente melhor que o MTBE(LEROUDIER, 1993).

A companhia Ecofuel, de origem italiana, uma das líderes mundiais na produção de oxigenados, se opunha à produção de etanol na Europa para a mixagem à gasolina, alegando a necessidade de subsídios para a produção de bio-combustíveis na Europa e os problemas de estabilidade da mistura devido à presença de água no combustível. Recentemente, esta empresa, que é subsidiária da Agip Petrol e parte do complexo petrolífero estatal ENI, utilizou a sua planta em Ravenna para a produção de ETBE a partir de etanol, devido à presença constante de certas quantidades de etanol no mercado europeu a baixo custo(CIMA & SPOSINI, 1993).

A planta de Ravenna, inicialmente projetada para a produção de MTBE, foi adaptada, em 1992, para a produção de ETBE em escala comercial. A produção de ETBE, de um período inicial de dois meses, foi completamente vendida, principalmente para a Suíça. Os compradores se mostraram satisfeitos e o mercado para o produto aumentou. Na Itália, onde as refinarias passaram a cumprir novas especificações para a gasolina no verão, isto é particularmente importante. A empresa está pronta para expandir a produção de ETBE para as suas instalações no exterior, desde que o custo da matéria prima, o etanol, seja competitivo (CIMA & SPOSINI, 1993).

Tecnicamente falando, o uso do MTBE ou do ETBE é preferível ao uso do metanol ou do etanol, especialmente em climas que apresentem baixas temperaturas. Mas qual dos dois oxigenantes, MTBE ou ETBE, derivados do metanol e do etanol, respectivamente, é o melhor?

Os dois aditivos praticamente se equivalem em termos técnicos. Mas a maioria dos autores analisados considera que o ETBE leva a gasolina, quando em mistura, a ter um maior número de octanagem e uma menor pressão de vapor que o MTBE, considerando-se misturas nas mesmas proporções e condições ambientais. Estas duas propriedades, já que as demais são bastante semelhantes, dão uma leve vantagem ao ETBE como aditivo à gasolina. Anderson, Hamaliuk & Hallberg (1993) apresentam algumas propriedades do etanol, metanol, ETBE e MTBE, assim como um processo industrial patenteado para que, a partir de etanol e metanol comprados de terceiros, uma refinaria de petróleo possa produzir, simultaneamente, MTBE e ETBE.

A produção de MTBE tem sido feita quase sempre a partir do gás natural e do petróleo como matérias primas. No processo de eterificação para produção de MTBE atualmente em uso, o metanol, produzido via gás sintético ($\text{CO}/\text{CO}_2/\text{H}_2$) derivado da reforma ou da oxidação parcial do gás metano, reage com o isobutileno. O isobutileno é produzido principalmente como subproduto do craqueamento catalítico do petróleo, ou pela isomerização do butano, seguido da deshidrogenização. Como a demanda futura por isobutileno pode exceder o suprimento a partir de fontes derivadas de petróleo, existe um considerável interesse na produção de MTBE e outros combustíveis oxigenados a partir de matérias primas alternativas (UNDERWOOD & SCHAUB, 1993).

A produção de ETBE também é feita, usualmente, a partir da reação de etanol com um hidrocarboneto, geralmente derivado do craqueamento catalítico do petróleo ou produzido a

partir da isomerização e deshidrogenização do butano e pentano, contendo isobutileno ou isoamileno (ANDERSON, HAMALIUK & HALLBERG, 1993).

Deve ser lembrado que, em escala comercial, o etanol é produzido principalmente a partir de biomassa, enquanto que o metanol é produzido principalmente a partir do gás natural como matéria prima. Assim, considerando-se que, para as refinarias, o consumo de petróleo e de energia são praticamente os mesmos na produção de gasolina reformulada com MTBE ou ETBE (vide tabela 2.4, no capítulo 2), o custo da matéria prima para a produção destes aditivos, o metanol ou o etanol, respectivamente, deve ser, sob a ótica econômica da refinaria, o fator determinante para a escolha do aditivo a ser produzido, enquanto que a produção destes aditivos dependerá, também, de seu valor no mercado, ou de lei que regulamente o assunto. Na ausência de lei que regulamente o assunto, o valor de mercado do ETBE deve ser ligeiramente maior que o do MTBE, uma vez que o éter produzido a partir de etanol apresenta um desempenho ligeiramente melhor que o éter produzido a partir de gás natural.

Nos casos citados neste texto, tanto na Europa como nos EUA, toda a produção de ETBE de que se teve notícia estava sendo feita em instalações originalmente projetadas para a produção de MTBE.

5.5 Veículos que Podem Utilizar Vários Tipos de Combustíveis

Os assim chamados "Multi Fuel Vehicles-MFV" ou "Flexible Fuel Vehicles-FFV"⁴, são veículos que, conceitualmente, tem a capacidade de operar com vários tipos de combustíveis, notadamente com vários tipos de gasolina reformulada, com metanol ou etanol, ou com misturas, em várias proporções, destes combustíveis entre si. Várias companhias transnacionais, entre as quais a Volkswagen, a General Motors, a Ford e a Chrysler estão envolvidas no desenvolvimento de veículos leves que possam operar sob este conceito.

Em um mercado mundial que vem se diversificando cada vez mais no que se refere a oferta de vários tipos de combustíveis, líquidos ou gasosos, com diferenciais de preços as vezes consideráveis dentro de um mesmo país -mesmo quando se considera os combustíveis sob o ponto de vista do conteúdo energético e dos rendimentos térmicos de cada um deles, o

⁴Aparentemente, os veículos do tipo FFV parecem apresentar uma menor variabilidade na composição dos combustíveis com os quais são movidos do que os veículos do tipo MFV. Para fins de simplificação, contudo, e uma vez que esta não é uma regra ou norma aceita internacionalmente, os veículos de ambos os tipos são chamados, neste texto, pelo nome de Veículos a Múltiplos Combustíveis-VMC.

que forma uma base energética uniforme para comparação- é desnecessário prever o sucesso comercial que um veículo deste tipo, que neste texto é chamado Veículo a Múltiplos Combustíveis-VMC, pode ter.

Para tanto, contudo, é necessário que tal veículo seja economicamente atrativo quando estiver consumindo os vários tipos de combustíveis que estejam dentro de suas especificações, bem como que atenda às rígidas normas ambientais hoje vigentes, o que o tornaria um carro do tipo "mundial". Durabilidade, preço de venda competitivo no mercado, elevada disponibilidade dos combustíveis utilizados nas áreas de operação, confiabilidade, pouca manutenção e a baixo custo, são, também, algumas das principais características básicas que este veículo teria que apresentar para ter sucesso no mercado.

Algumas das experiências realizadas neste sentido ao longo dos últimos anos serão apresentadas neste texto. Inicialmente, considera-se algumas experiências ocorridas nos EUA e relatadas por Garbak & Gelman (1993), que são analisadas nos parágrafos a seguir.

Nos Estados Unidos, o Alternative Motor Fuels Act-AMFA, de 1988, exigiu do Departamento de Energia-DOE o conhecimento, o manejo e a coleta de dados sobre veículos a combustíveis alternativos. Desde 1991 o Departamento de Energia, em cooperação com a Administração de Serviços Gerais, vem coletando dados operacionais e sobre a emissão de poluentes de veículos movidos a misturas alcoólicas, como o M-85 e o E-85⁵.

Inicialmente, sob os auspícios do AMFA, veículos leves a combustíveis alternativos foram colocados em operação em quatro áreas: Washington, DC; Detroit, MI; Los Angeles, CA e em San Diego, CA. É a partir destes quatro primeiros locais que a maioria dos dados atuais foram gerados. Posteriormente, outros sete locais, ao longo do país, foram adicionados. A maioria dos veículos incluídos no programa do AMFA são Veículos a Múltiplos Combustíveis-VMC, embora haja um número significativo, cerca de 400, que são veículos que consomem gás natural. Os VMCs foram produzidos pelas companhias Ford, General Motors e Chrysler, sendo constituídos, principalmente, pelos modelos Ford Taurus, Dodge Spirit e Chevrolet Lumina, que estão sendo movidos a M-85 ou, na falta deste, a gasolina. Cerca de 70 Luminas movidos a etanol, E-85, deveriam entrar em operação no final do verão de 1993. Além da entrada em operação destes VMCs, os esforços para a obtenção de dados incluíam, ainda, a operação de veículos de referência, que poderiam ser do tipo VMC rodando apenas com gasolina ou veículos convencionais rodando, também, apenas com gasolina. A gasolina

⁵O M-85 é uma mistura constituída de 85 por cento de metanol e de 15 por cento de gasolina, em volume, mistura que tem nomenclatura similar ao E-85, que é constituído por 85 por cento de etanol, álcool anidro, e 15 por cento de gasolina.

utilizada pode ser do tipo oxigenada durante certas partes do ano, devido à necessidade do cumprimento de leis regionais, mas não durante as outras partes do ano em que isto não é requerido pela legislação.

O número de veículos leves movidos a combustíveis alternativos na frota do governo federal americano aumentou rapidamente desde que o programa começou com 65 veículos em 1991. Após cerca de apenas dois anos, havia mais de 3.000 veículos a combustíveis alternativos operando na frota do governo federal. Previa-se que haveriam cerca de 6.500 veículos operando ao longo do país até o final de 1993, sendo que, deste total, mais de 5.500 seriam VMCs operando com álcool. De forma a atender apenas às exigências do "EPA Act", mais de 100.000 veículos a combustíveis alternativos serão acrescentados à frota do governo federal entre os anos de 1993 e 1999. Dentro dos esforços para implementar a "Executive Order 12759", as agências do governo federal foram solicitadas a identificar as suas necessidades de veículos alternativos para um período que compreendesse os próximos 5 anos. Para o início deste período, o ano de 1993, as agências identificaram uma necessidade de aproximadamente 50 por cento de veículos a álcool e 50 por cento de veículos a gás natural, proporções estas alteradas para 75 por cento de veículos a álcool e 25 por cento de veículos a gás natural em 1997. Dentro dos pedidos de veículos a álcool para o período, 28 por cento, em 1993, e 35 por cento, em 1997, são de veículos movidos a etanol, sendo que o restante da frota a álcool deverá consumir metanol (GARBAK & GELMAN, 1993).

De acordo com os dados de Garbak e Gelman (1993) observa-se que, do total de veículos alternativos da frota que deverá ser adquirida pelas agências federais americanas no período em questão, a parcela de veículos movidos a etanol salta de 13 por cento em 1993 para 26,25 por cento em 1997; a de veículos movidos a metanol salta de 36 por cento em 1993 para 48,75 por cento em 1997; enquanto que a de veículos movidos a gás natural cai de 50 por cento em 1993 para 25 por cento em 1997. Isto corresponde a um crescimento de 101,9 por cento nos pedidos de veículos movidos a etanol, um acréscimo de 35,4 por cento nos pedidos de veículos consumindo metanol e uma queda de 50 por cento nos pedidos de veículos alimentados a gás natural. Considerando-se o histórico do gás natural nos Estados Unidos, e a simpatia do público americano para com este energético, observe-se a forte indução por parte do DOE para modificar o quadro atual.

Notícias obtidas junto à imprensa brasileira parecem confirmar esta tendência de aumento da participação do etanol no mercado de combustíveis americano. Declarações do governador de Nebraska, por exemplo, que esteve em visita ao Brasil juntamente com uma

equipe técnica americana em setembro de 1995, afirmam que a partir de 1998 dois por cento dos carros vendidos nos Estados Unidos, cerca de 200.000 veículos por ano, serão movidos a combustível renovável. Para tanto, segundo o governador, a produção total de etanol nos Estados Unidos deverá saltar dos atuais 4 bilhões para 8 bilhões de litros, garantindo a contribuição deste combustível. O governador de Nebraska chefia uma frente de 19 governadores americanos a favor do etanol, principalmente, segundo o referido governador, porque o etanol polui menos o ambiente e gera 20 vezes mais empregos do que uma produção equivalente de gasolina(JORNAL NACIONAL, 18/9/95).

O consumo específico de combustível dos veículos ligados ao programa AMFA/DOE nas quatro áreas de estudo tornou-se uma questão um pouco complicada, uma vez que as frotas incluem veículos operando com misturas variáveis de M-85 e gasolina, e, ao mesmo tempo, veículos de referência que operam apenas com gasolina. Desta forma, as médias de consumo específico das frotas podem variar significativamente entre si e ao longo do tempo, dependendo de quão frequentemente o M-85 é utilizado em relação à gasolina. Para os VMCs, esta variação no uso de combustíveis diferentes é refletida no "Refueling Index-RI", o qual representa que porcentagem de combustível posta em um VMC é M-85. Obviamente que quanto maior esta porcentagem, mais frequentemente o M-85 está sendo utilizado. Desde que a coleta de dados começou, os índices de abastecimento mensal, RIs, das quatro áreas, têm variado desde 100 por cento até somente 25 por cento. Na média, os RIs das quatro áreas foram os seguintes: Washington, 88 por cento; Detroit, 95 por cento; Los Angeles, 74 por cento; e San Diego, 76 por cento(GARBAK & GELMAN, 1993).

Deve ser observado que uma série de fatores podem afetar os índices de abastecimento de uma dada área ou veículo. A nível do veículo, um índice de abastecimento particularmente baixo pode refletir o seu uso fora da área onde o M-85 é prontamente encontrado, ou mesmo uma preferência particular do motorista daquele veículo, embora os motoristas tenham instrução de utilizar o M-85 sempre que ele estiver disponível. A nível de área, um índice de abastecimento mais baixo pode refletir uma indisponibilidade temporária de M-85, um número insuficiente de postos de abastecimento com M-85, ou, até mesmo, uma má distribuição geográfica dos postos de abastecimento que operam com o M-85.

Analizando-se o índice de abastecimento e os dados sobre consumo específico de combustível, observa-se que o consumo específico entre os veículos em cada uma das áreas, assim como entre as áreas, tende a variar bastante. As médias dos valores das médias mensais de cada área variaram de um mínimo de 13,4 milhas por galão para a frota de Washington, até

um máximo de 19,2 milhas por galão para San Diego. Por outro lado, as médias mensais de cada área individualmente variaram de 11 milhas por galão para Washington, em Agosto de 1991, até 24 milhas por galão para Detroit, em Agosto de 1992. Novamente, deve ser observado que estes valores representam o total da distância percorrida em cada área dividido pelo número total de galões de combustível utilizado naquela área em um dado período, tendo sido este combustível o M-85 ou a gasolina. Na maior parte das vezes, o consumo de combustível variou pouco dentro de cada área ao longo do tempo, com as quatro áreas em estudo experimentando uma variação máxima menor ou igual a 4 milhas por galão na maior parte dos meses considerados. Dado o uso de um volume básico comum nesta análise, o galão de combustível, bem como o menor conteúdo energético do metanol em relação à gasolina, um consumo específico menor frequentemente indica um maior uso de gasolina, enquanto que um consumo específico maior tende a indicar um maior uso do M-85 (GARBAK & GELMAN, 1993).

Cálculos de consumo de combustível de acordo com o "Federal Test Procedure" também foram realizados em alguns dos veículos, os quais foram utilizados em testes sobre emissões de poluentes. Em cada um destes casos, para percursos iguais a 4.000, 10.000 e 15.000 milhas, os veículos a múltiplos combustíveis movidos a M-85 analisados registraram um consumo específico de combustível contido dentro de uma faixa estreita, expressa em milhas/galão. O consumo de combustível, tendo o M-85 como base energética equivalente, variou de um pouco mais de 20 milhas por galão, para 10.000 milhas, até 21,5 milhas por galão, para 15.000 milhas. Os consumos específicos de combustível das combinações de três tipos de veículos⁶/combustíveis mostraram muito pouca variação ao longo do tempo, ou das milhas percorridas, demonstrando resultados relativamente consistentes. Os consumos específicos de combustível de todas as combinações se situaram na faixa de 19 a 21,5 milhas por galão equivalente de M-85. Os resultados dos testes realizados segundo as normas do "Federal Test Procedure", juntamente com os dados obtidos nas quatro áreas do estudo sobre o desempenho de todos os veículos ao longo do tempo, indicam que, de uma forma geral, veículos não-otimizados consumindo a mistura M-85 devem apresentar um consumo específico de combustível, considerada uma base energética equivalente, similar ao dos veículos convencionais, embora, individualmente, os veículos movidos a M-85 possam apresentar, de alguma forma, resultados melhores ou piores.

⁶O Ford Taurus, o Dodge Spirit e o Chevrolet Lumina.

De forma a se obter uma base quantificável e normatizada de dados sobre dirigibilidade e performance, selecionou-se uma série de aspectos sobre os quais foi pedido aos motoristas dos veículos a sua impressão. Dentre estes aspectos incluiu-se: possíveis discontinuidades na operação do motor ou a ocorrência de explosões no cano de escapamento; possíveis falhas quando o motor estivesse operando em ponto morto; o acendimento eventual da lâmpada de necessidade de verificação do funcionamento do motor numa operação aparentemente normal; eventuais paradas repentinas após a partida, por falta de potência ou de velocidade do motor; possível ocorrência destas paradas quando já em operação normal em zona de tráfico fora da garagem; ocorrência de dificuldades para se dar a partida e entrar em operação normal; e aparecimento de batimentos no motor(GARBAK & GELMAN, 1993).

Tipicamente, as reclamações foram maiores na categoria de discontinuidades na operação do motor e ocorrência de explosões no cano de escapamento, com uma média de 6 problemas deste tipo relatados para cada 10.000 milhas percorridas pela frota dos veículos a combustíveis múltiplos do DOE/AMFA. Problemas quando em operação no ponto morto e com relação ao acendimento anormal da lâmpada de necessidade de verificação do funcionamento do motor foram os próximos, com 4 e 3,9 reclamações a cada 10.000 milhas, respectivamente. A maioria do restante das possíveis falhas que poderiam ocorrer apresentaram um nível de reclamações significativamente menor. Reclamações sobre os veículos de referência virtualmente não existiram.

As reclamações dos motoristas diminuíram sensivelmente ao longo do tempo, de 6 a 8 problemas relatados para cada 1.000 milhas em meados de 1991 para menos de 2 por 1.000 milhas para a maior parte de 1992 e início de 1993. Esta redução dos problemas apresentados pode dever-se a uma série de causas. Primeiramente, os motoristas se tornaram mais familiarizados com a operação correta dos VMCs e com o recolhimento de dados de uma forma mais precisa, de acordo com os procedimentos adotados no programa. Em segundo lugar, os reparos necessários para se atender às reclamações dos motoristas já foram feitos, removendo-se esta fonte de problemas. Em terceiro lugar, a equipe de manutenção tem se aperfeiçoado na realização de uma manutenção apropriada e no conserto dos novos veículos, o que também pode incluir manutenção preventiva programada, baseada em modelos de desempenho só desenvolvidos mais recentemente. Finalmente, foram encontradas soluções para algumas importantes questões técnicas, como procedimentos satisfatórios para o manejo do combustível e de equipamentos.

Dados sobre a manutenção dos VMCs foram coletados, cobrindo tanto reparos relacionados com o sistema de combustível como os não relacionados. No geral, os reparos mais frequentes ocorreram tanto com a unidade de controle eletrônico do motor, "electronic engine control unit-EEC", como com as bombas de combustível, com uma frequência de reparos de mais de 5 para cada 100.000 milhas em cada área. Há diversas possíveis razões para isto, entre as quais a complexidade da EEC, a inclusão do sensor de mistura nos reparos desta unidade e, talvez, a prática de condenar a EEC se uma outra fonte de problemas não fosse imediatamente identificada. Em ambos os casos, a contaminação por combustível pode, também, ter sido a principal causa dos problemas. Inicialmente, parecia haver muitos problemas com os primeiros VMCs. Mas, como também foi observado com relação à questão de dirigibilidade/performance, reparos e soluções técnicas efetivas parecem ter resolvido muitos dos problemas, reduzindo a frequência total dos reparos de mais de 15 por 10.000 milhas, em julho de 1991, para menos de 4 por 10.000 milhas, no final de 1992. Esta redução nos reparos foi conseguida ao mesmo tempo que os VMCs mais do que dobravam a sua quantidade de milhas acumuladas, o que normalmente resultaria em um aumento na frequência de reparos, uma vez que os veículos estavam se tornando mais velhos.

Ainda é cedo para se chegar a conclusões definitivas a partir dos dados existentes. Já há, contudo, algumas tendências que estão emergindo. Primeiro, os VMCs consumindo a mistura M-85 a utilizaram por, aproximadamente, três-quartos de praticamente toda a sua operação (dependendo da área), atendendo, virtualmente, a todas as exigências que deles se esperavam. Isto foi conseguido a despeito da falta de uma infra-estrutura plenamente desenvolvida no projeto. Segundo, os VMCs a M-85 demonstraram uma eficiência energética similar aos veículos a gasolina. Terceiro, houve uma significativa queda nas reclamações dos motoristas e nos reparos não programados desde os primeiros dias do programa, indicando que, uma vez que os problemas são resolvidos, eles permanecem resolvidos. Quarto, este programa tem demonstrado que, enquanto na maior parte dos casos, problemas de compatibilidade de materiais embarcados podem ser agora resolvidos, os problemas "off-board", como o manejo de combustível e os sistemas de distribuição, não puderam ser resolvidos ainda. Finalmente, os resultados iniciais sobre as emissões de poluentes parecem promissores na maior parte dos casos, embora existam muitos poucos dados a este respeito para se chegar a conclusões definitivas (GARBAK & GELMAN, 1993).

Garbak e Gelman (1993) relatam que um número não definido de VMCs foram testados quanto às suas emissões de HC, CO, NO_x, formaldeídos e perdas evaporativas de

HC, quando os veículos estavam operando com M-85. Os resultados foram comparados com testes similares aplicados a VMCs e a veículos de referência operando apenas com gasolina. As emissões padrão da EPA em 1993, para veículos leves do tipo "Low Emission Vehicle-LEV", foi o padrão limitante utilizado para os três casos analisados. As emissões de NOx e HC dos VMCs consumindo M-85 se situaram sempre dentro dos limites estipulados pela EPA, com os testes sendo feitos a 4.000, 10.000 e 15.000 milhas. No caso das emissões de CO destes veículos, o limite da EPA foi atingido já na medição das 10.000 milhas e a situação piorou bastante na medição das 15.000 milhas.

De forma geral, pode-se afirmar que o desempenho dos VMCs consumindo M-85 e dos veículos de referência consumindo gasolina foram bastante semelhantes quanto às suas emissões de NOx, HC e CO. O desempenho dos VMCs consumindo gasolina foi, por outro lado, o pior de todos. Em 1993 os limites da EPA eram de 1,0 grama/milha para o Nox, 0,41 gramas/milha para o HC e 3,4 gramas/milha para o CO.

Embora até 1993 as emissões de formaldeídos não fossem regulamentadas pela EPA, Garbak e Gelman (1993) também relatam que as emissões de formaldeídos pelos VMCs consumindo o M-85 foram muito maiores que nas outras duas combinações veículos/combustível. No teste de 4.000 milhas as emissões de formaldeídos dos VMCs consumindo M-85 foi de 18 miligramas/milha. No teste de 10.000 milhas eles passaram a emitir 24 miligramas de formaldeídos por milha, enquanto que este índice era de apenas 5 miligramas de formaldeídos/milha para os VMCs operando com gasolina. O teste de emissões de formaldeídos para 15.000 milhas não foi realizado.

Embora tenham sido realizados poucos testes, em todos eles as emissões evaporativas de HC dos VMCs consumindo M-85 ficaram sempre bem abaixo do limite permitido pela EPA em 1993, que era de 2,0 gramas de perda de HC por teste (GARBAK & GELMAN, 1993).

A companhia VOLKSWAGEN também conduziu uma série de pesquisas com um tipo de VMC. Desde o fim de 1990 esta companhia tem tomado parte no "CEC's Light-Duty Methanol Fuel Flexible Vehicle Demonstration Program", na Califórnia, EUA, com cerca de 80 VMCs do tipo Jetta. Mas, segundo Decker et alii (1993), devido à falta de interesse de consumidores privados e de uma aversão dos responsáveis pelas frotas públicas a produtos de fabricantes não americanos, o número planejado de 300 VMCs não pode ser alcançado.

Segundo Decker et alii (1993) a mais importante característica de um VMC é a possibilidade de operação opcional de um veículo deste tipo com metanol, etanol, gasolina ou qualquer mistura destes combustíveis em variadas proporções sem qualquer diferença sensível

em sua dirigibilidade ou performance e, obviamente, operando com as suas emissões dentro dos limites considerados ecológicos. O uso de gasolina normal é, também, necessário para garantir aos consumidores a mesma mobilidade que os veículos convencionais devido à falta, atualmente, de uma infra-estrutura de abastecimento de metanol e etanol ao longo dos EUA, onde a experiência está sendo realizada.

Por outro lado, um dos mais importantes componentes do VMC é o sensor de composição do álcool. Este sensor foi desenvolvido para produções em série em um projeto conjunto entre companhias eletrônicas e automotivas alemãs e institutos de pesquisa (DECKER et alii, 1993).

O programa desenvolvido pela VOLKSWAGEM é analisado mais detalhadamente nos parágrafos a seguir, a partir do texto de Decker et alii (1993). Neste texto, afirma-se que os consumidores se consideram satisfeitos com os veículos do programa e, ainda, que alguns problemas relacionados com o combustível, com o motor e com componentes do veículo no início do programa foram, desde então, resolvidos. De forma a estabelecer a vantagem da utilização de combustíveis limpos, principalmente alcoóis, diferentes combustíveis foram testados e cerca de 85 componentes do tipo HC, presentes nas emissões dos veículos, foram especificamente analisados.

A concentração de ozônio é vista como o principal responsável pela formação da neblina de poluentes, em áreas urbanas densamente povoadas, em geral com intensa atividade industrial e/ou intenso tráfego de veículos, mais conhecida pela palavra inglesa "smog". A redução das emissões industriais e de veículos é de particular importância neste caso, porque estes agentes emissores são responsáveis pelas emissões precursoras, isto é, os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio. Levando isto em conta, é compreensível porque o estado da Califórnia tem sido considerado o precursor no estabelecimento de legislação sobre emissões por muitos anos, e por ter introduzido, recentemente, normas ainda mais severas, que incluem uma extensa legislação sobre veículos de baixa emissão, os Low Emission Vehicle-LEV. Outros estados americanos, contudo, também sofrem cada vez mais com as altas concentrações de ozônio. A concentração máxima permissível de ozônio em 1993 era de 0,12 ppm nos Estados Unidos, enquanto que no estado da Califórnia foi estabelecido um limite de 0,09 ppm.

A legislação sobre os LEVs, formulada pelo "California Air Resources Board-CARB", estabelece normas muito rígidas para as emissões dos veículos. Uma atenção especial é dedicada aos gases orgânicos não "metânicos", NMOG, devido à sua reatividade para a

formação de ozônio. Os veículos movidos pelos chamados “combustíveis limpos”, como o M-85 e o E-85, o gás natural comprimido, o gás de petróleo liquefeito ou a gasolina reformulada fase II, recebem um bônus, na forma de um fator de ajustamento de reatividade, Reactivity Adjustment Factor-RAF, que reflete a menor reatividade das suas emissões NMOG em relação ao que ocorre com os veículos a gasolina tradicionais (vide tabela 5.13).

Com a introdução da legislação sobre as emissões dos LEVs, na Califórnia, introduziu-se, também, o termo "Non-Methane Organic Gases-NMOG" para descrever as emissões de hidrocarbonetos e para substituir o antigo e familiar termo HC. O conceito NMOG requer uma análise diferenciada das emissões de hidrocarbonetos, o que é uma condição primordial para a determinação do potencial de formação do ozônio e, assim, também uma condição para a avaliação de diferentes combinações veículo/combustível, com relação à sua contribuição para a formação de ozônio e de “smog”(DECKER et alii, 1993).

NMOG são os compostos orgânicos gasosos com a exclusão das emissões de metano. O termo inclui todos os outros hidrocarbonetos que contenham, ou não, oxigênio, com os alcanos, os alquenos, os aldeídos, as cetonas, os álcoois e os produtos aromáticos contendo até 12 átomos de carbono. A exclusão do componente metano faz sentido em um contexto de preocupações para com os problemas de qualidade do ar urbano, isto porque o metano desempenha apenas um pequeno papel na formação do ozônio na atmosfera. No entanto, a sua importância como gás poluente na atmosfera terrestre não pode ser subestimada. Sob este ponto de vista, o metano deve ser colocado atrás apenas dos clorofluorcarbonos, CFCs; do gás de óxido nitroso, N_2O ; do ozônio, O_3 ; e do dióxido de carbono, CO_2 , sendo, portanto, muito importante na formação do efeito estufa. Considerando este aspecto, é pouco provável que a legislação da Califórnia sobre emissões de poluentes, que atualmente não regula os níveis de emissão de metano, levará aos mais baixos níveis de poluição do planeta, no que diz respeito ao aquecimento global(DECKER et alii, 1993).

Os resultados dos testes, com relação às emissões de poluentes, feitos nos veículos tipo VMC da companhia VOLKSWAGEN, estão indicados na tabela 5.13, onde o termo PFO indica o potencial de formação de ozônio.

Em comparação com a gasolina tradicional, uma redução na formação de ozônio da ordem de 20 por cento surge quando se passa a utilizar a gasolina reformulada. Uma redução maior, da ordem de 25 por cento, é encontrada quando a gasolina tradicional é substituída pelo M-85. O E-85, por outro lado, tem um desempenho pior, 6 por cento, que a gasolina

tradicional. Isto se deve principalmente a um desempenho pobre durante a partida a frio, devido à baixa pressão de vapor deste combustível(DECKER et alii, 1993).

Tabela 5.13 Emissões, em gramas/milha, dos VMCs da companhia VOLKSWAGEM

Combustível	NMOG	NMOG x RAF	PFO, em gO ₃ /milha	Formaldeído	CO	NO _x
Gasolina tradicional	0,101	0,101	0,403	0,8	1,7	0,102
Gasolina reformulada	0,088	0,086	0,325	1,0	2,0	0,090
M-85	0,213	0,087	0,309	13,6	1,2	0,061
E-85	0,186	0,125	0,429	2,7	1,6	0,064
Normas TLEV ⁷	0,125	0,125	-	15,0	3,4	0,400

Fonte:(DECKER et alii, 1993)

Ao todo, cerca de 30 componentes dos NMOG são responsáveis por cerca de 95 por cento do potencial total de formação de ozônio da gasolina tradicional. Mais da metade deste potencial é devido às emissões de componentes aromáticos. No caso da gasolina reformulada, esta porção diminui consideravelmente devido ao baixo teor de componentes aromáticos neste tipo de gasolina, mas, por outro lado, a parcela devido às olefinas aumenta significativamente(DECKER et alii, 1993)

Os componentes mais críticos emitidos pelos escapamentos dos veículos que consomem o M-85 são metanol e formaldeído não queimados, responsáveis por mais de 60 por cento do potencial total de formação de ozônio. Outros componentes, relacionados principalmente à combustão dos 15 por cento de gasolina têm uma influência menor. Os componentes mais críticos dos veículos movidos a E-85 são etanol e acetaldeído não queimados(DECKER et alii, 1993).

⁷Segundo a California Air Resources Board-CARB, sob o ponto de vista do nível de emissões de poluentes, os veículos leves, "light-duty vehicles", estão divididos nas seguintes categorias de veículos com baixos níveis de emissões de poluentes: Transitional Low Emission Vehicle-TLEV; Low Emission Vehicle-LEV; Ultra Low Emission Vehicle-ULEV; e Zero Emission Vehicle-ZEV. A diminuição dos níveis de emissão de poluentes se dá no sentido do TLEV para o ZEV(GARBAK & GELMAN, 1993).

Depois que numerosos consumidores mostraram interesse na operação de um VMC com etanol, E-85, um dos primeiros VMCs postos em operação com E-85 nos Estados Unidos começou a operar em, 1991, no Illinois Corn Marketing Board-ICMB. Foi um VOLKSWAGEM MF-Jetta. Subsequentemente, testes adicionais foram realizados para otimizar a operação do veículo com diversas misturas etanol/gasolina ou, até mesmo, para misturas de metanol/etanol/gasolina.

Os resultados dos testes mostraram que o sensor calibrado exclusivamente para operação com metanol indicava sinais que apresentavam um ligeiro desvio em relação à mistura estequiométrica ar/combustível quando se usava etanol. Estes desvios eram de aproximadamente 7 por cento, quando o combustível era 100 por cento etanol, e diminuíam com o aumento da proporção de gasolina no combustível. O baixo enriquecimento da mistura resultante é muito pequeno, quando comparado com uma calibração otimizada. Uma calibração do sensor para atender a ambos, metanol e etanol, não é possível atualmente sem que sejam feitos grandes esforços. Desta forma, o sinal de saída válido para a operação com metanol foi adotado para efeito de padronização do conceito(DECKER et alii, 1993).

As emissões com o emprego do conceito de VMC da VOLKSWAGEM com o uso de gasolina, E-70, ou com uma mistura composta por etanol, metanol e gasolina (E-17/M-70/G-13), atendiam os limites de NMOG e NOx da época, mas não os de CO.

Com a introdução de uma nova geração de modelos da VOLKSWAGEM, os Golf III e Jetta III, no mercado americano, o conceito de VMC foi transferido para estes modelos e aperfeiçoado. Os novos modelos são do tipo 2.0 e têm motor de 85kW, o que os enquadra na categoria de base no mercado americano para carros movidos a gasolina. O uso de catalizador pré-aquecido eletricamente parece ser uma rota promissora para os VMCs atingirem os níveis de emissões exigidos para os Low Emission Vehicles-LEV e os Ultra Low Emission Vehicles-ULEV. O sistema consiste no emprego de um catalizador aquecido eletricamente seguido de um catalizador de três vias. O catalizador é aquecido durante a partida e durante a fase de aquecimento do motor. Embora o sistema seja caracterizado por um nível muito baixo de emissões, sua baixa durabilidade e elevado custo ainda são empecilhos a serem eliminados(DECKER et alii, 1993)

O desempenho dos VMCs compreendidos pelos programas analisados neste texto, quanto à emissão de poluentes, foi melhor quando os VMC foram movidos a álcool do que quando o foram a gasolina. O mesmo se aplica aos veículos de referência que foram movidos, porém, só a gasolina.

O programa da companhia VOLKSWAGEM, contudo, foi o único que se utilizou, em um mesmo tipo de carro, dos combustíveis M-85, E-85, E-70, gasolina e misturas variáveis destes combustíveis. Se por um lado tanto a dirigibilidade quanto a confiabilidade deste tipo de carro aumentaram com o tempo, ainda ficou por se resolver a questão de um sensor eletrônico que permita um desempenho energético e ambiental correspondente aos conteúdos energéticos e aos componentes dos vários combustíveis que podem ser utilizados neste tipo de carro.

Não há dúvidas que os VMCs consumindo gasolina ou M-85 são uma realidade que está sendo aperfeiçoada e deverá espalhar-se pelos Estados Unidos, mas, como no caso do carro a álcool no Brasil, a sua difusão deverá iniciar-se pelo seu emprego em agências públicas.

Com o prosseguimento das experiências, a utilização dos VMCs com uma maior abrangência de combustíveis será uma consequência natural. É interessante se destacar que já se dispõe de todo o conhecimento tecnológico para a operacionalização de um veículo deste tipo. Não se está descobrindo nada de novo, é apenas uma questão de se juntar o conhecimento e as tecnologias disponíveis e por as coisas para funcionar. Contudo, disponibilidade de tempo, dinheiro e vontade política para que isto ocorra é fundamental. Caso contrário o VMC não passará de uma experiência relativamente bem sucedida, mas sem atingir sucesso a nível comercial.

É importante se ter em mente que o VMC é um carro que opera com múltiplos combustíveis. Isto quer dizer que ele opera com combustíveis possuindo diferentes propriedades físico-químicas entre si. Trata-se, portanto, de um conceito bem diferente de se ter um carro que opere com vários tipos de misturas de combustíveis, mas com estas misturas sendo feitas de tal forma que as propriedades físico-químicas finais das mesmas sejam bastante semelhantes entre si. O que já ocorreu no Brasil, em 1990, com o uso do MEG (que continha 33 por cento de metanol, 60 por cento de etanol e 7 por cento de gasolina), que podia ser adicionado ao álcool hidratado em qualquer porcentagem, por possuir características físico-químicas muito semelhantes a este.

Há, portanto, dois conceitos bem distintos entre si. O de veículo flexível, ou VMC, que é um veículo movido com combustíveis com propriedades diferentes entre si, e o conceito de combustível flexível, que abrangeria diferentes combustíveis com propriedades semelhantes, que poderiam alimentar, por exemplo, qualquer carro fabricado para ser movido a E-70, mesmo que não houvesse sequer uma gota de etanol no combustível.

Comparando estes dois conceitos, Branco e Szwarc (1993) afirmam: "Considerando-se a mobilidade de um veículo e a dificuldade para se ter cada alternativa de combustível

disponível ao longo de toda uma região, os projetistas de motores estão tentando desenvolver um motor que seja capaz de funcionar com uma variedade de combustíveis alternativos e com qualquer mistura dos mesmos, de forma a permitir que o veículo tenha a capacidade de ser abastecido com diferentes combustíveis".

Muitos protótipos estão sendo desenvolvidos pela indústria automobilística, contudo, todos eles tem mostrado crescente complexidade tecnológica. Desenvolvimento de tecnologias já pode resolver a maioria dos problemas envolvidos e certamente eles serão viáveis no futuro, ao menos para certos tipos de aplicações. Contudo, alguns anos e altos investimentos são ainda necessários para transformar motores com a atual capacidade de uso de vários combustíveis em um veículo flexível no uso de combustível e plenamente otimizado (BRANCO & SZWARC, 1993).

Um outro conceito é o de combustível flexível e se baseia na implementação de um novo combustível nos postos de abastecimento: o "combustível alternativo limpo", como ocorre no Brasil com a distribuição de etanol. Esta implementação requer somente um tipo de motor para queimar um combustível alternativo padrão e misturas com especificações equivalentes como uma segunda opção, como é a prática comum com gasolinas. A mais importante característica de um combustível é como o motor "sente" e "responde" a ele. No caso do óleo diesel e da gasolina, por exemplo, pode-se observar que seus parâmetros médios definem o comportamento do motor mais que as características de cada um dos compostos químicos por si mesmos (BRANCO & SZWARC, 1993).

5.6 Conclusões

É impossível deixar de se notar que o programa americano para a substituição de óleo diesel, em motores a ignição por compressão, por etanol, apresenta uma leve vantagem sobre o programa sueco correspondente. Note-se que esta vantagem se deve principalmente ao dispositivo eletrônico que controla a injeção de combustível e ao tipo de etanol que foi adotado nos EUA, que possui um menor teor de água, o que leva a uma melhor ignição.

Os veículos a múltiplos combustíveis são uma realidade, mas para entrarem no mercado a nível comercial é preciso, ainda, que sejam aperfeiçoados. Isto para que se tornem uma

opção realmente interessante sob o ponto de vista do usuário normal e não apenas de agências governamentais.

Desde o início da década de noventa, em apenas alguns anos, tanto os motores diesel movidos a etanol quanto os VMCs tiveram melhoras. Além disso, o número de pesquisas nestas áreas e de veículos ao invés de diminuírem têm aumentado, tanto nos EUA quanto na Suécia, assim como em outros locais.

A grande dificuldade a ser enfrentada pelos ônibus e caminhões movidos a etanol não será o seu custo que, conforme foi visto neste texto, não é tão dependente assim do custo do combustível, mas sim, de entrarem em um mercado dominado por um combustível tradicional e extremamente confiável sob o ponto de vista técnico: o óleo diesel. Por outro lado, a grande vantagem no emprego do etanol se dá pelo lado ambiental, tanto a nível local quanto a nível global.

CAPÍTULO 6

ASPECTOS EM DESTAQUE NA PRODUÇÃO E NO USO DE ÁLCOOL CARBURANTE NO BRASIL

6.1 Introdução

Concluiu-se, após a defesa de tese que, em função da vasta contribuição que foi apresentada pelos membros examinadores da banca de tese, o capítulo 6 deveria, necessariamente, passar por várias modificações. O autor é grato pelas informações que lhes foram passadas durante a arguição e, neste capítulo, procura incorporar tais informações.

Nas próximas seções são considerados alguns tópicos relevantes relacionados à produção e ao uso de álcool carburante no Brasil.

6.2 Perfil Geral do Setor Sucro-Alcooleiro no Brasil

O Programa Nacional do Álcool-PROÁLCOOL alcançou a sua maturidade. A maior parte dos objetivos inicialmente estabelecidos para cumprimento pelo programa foram alcançados. Houve uma época em que, segundo Cortez, Guerra e Lamparelli (1991), se chegou a consumir quase 200.000 bep de etanol por dia. Ainda segundo estes autores, o PROÁLCOOL ajudou a contornar a séria crise que o Brasil enfrentou na balança de pagamentos nos anos oitenta. Mas o programa tem, também, uma série de problemas necessitando de soluções urgentes, tais como: as más condições de vida de parte dos trabalhadores do setor sucro-alcooleiro; a poluição ambiental causada pelas queimadas da cana-de-açúcar e pelo vinhoto; as desigualdades graves, a nível de regiões, envolvidas no

programa; o uso de cinturões verdes perto de grandes e médias cidades para a produção da cana e não de produtos hortifrutigrangeiros; etc.

Segundo Fischer (1995), logo após a sua implantação, no ano de 1975, o PROÁLCOOL contou com vários subsídios e com a segurança na colocação de seu produto no mercado. Além disso, havia a proteção de um governo centralizador a favor do programa. Na safra de 1977/78 a Comissão Nacional do Alcool aprovou 163 novos projetos de destilarias para produzir álcool, na qualidade de organismo encarregado de administrar o programa. Destes projetos, 108 estavam localizados na região Centro-Sul deste país.

Após uma primeira fase de encantamento, Nogueira & Nastari (1991) descrevem os difíceis momentos porque passou o programa durante a segunda metade dos anos oitenta. Segundo estes autores, durante a segunda metade dos anos oitenta os preços dos combustíveis, em geral, foram duramente controlados pelo governo, na esperança de deter a inflação elevada na época. O mesmo ocorreu com o álcool carburante.

Considerando um índice para o preço pago aos produtores de cana-de-açúcar e estabelecendo o ano de 1978 como base, pode ser observado que, em 1984, antes que a política de preços não remunerativos começasse, os produtores de cana receberam 77 por cento do que eles receberam em 1978, e que, em 1990, este índice despencou para 42 por cento do valor de 1978 (NOGUEIRA & NASTARI, 1991).

No final dos anos oitenta e início dos anos noventa, as importações de petróleo eram de cerca de 650 mil barris por dia. Aparentemente, era de se esperar que houvesse uma certa tolerância com relação à produção, mais cara, de etanol no Brasil. Mas, segundo Nogueira e Nastari (1991), a companhia PETROBRÁS, desejosa de expandir as suas explorações de jazidas petrolíferas e cansada de subsidiar os custos da produção de etanol, resolveu que deveria atacar o programa do álcool, como forma de economizar recursos para os seus próprios investimentos. Assim, segundo estes autores, ocorreram os episódios relatados a seguir.

Em maio de 1988, sob influência da PETROBRÁS, o governo brasileiro reduziu os estoques de segurança de etanol no país, de dois meses de consumo equivalente para apenas um mês. Oito meses a partir desta data começou a ocorrer a falta generalizada de álcool hidratado no país, o que levou a uma desconfiança generalizada da população em relação a este carburante.

Desde o início do Programa Nacional do Alcool a relação entre os preços do álcool hidratado e da gasolina também tem aumentado. De 0,52, no início do programa, esta relação

passou para 0,75¹, ao iniciar-se a década de noventa. Obviamente que este fato passou a desestimular a compra de carros a álcool(NOGUEIRA & NASTARI, 1991).

No entanto, em função da grande frota de carros a álcool que se criou no país, a produção deste carburante tem se mantido na faixa de 11 a 12 bilhões de litros de álcool carburante por ano desde a safra 1985/86.

O PROÁLCOOL tem sido duramente criticado ao longo de sua existência, mas muitos dependem direta ou indiretamente deste programa. Para estes, o encontro de soluções para os problemas enfrentados é primordial. Assim, não existe apenas a PETROBRÁS, de um lado, e os usineiros, do outro, disputando a continuidade, ou não, da produção de álcool carburante no país.

Um dos grandes problemas enfrentados por quem administra uma usina sucroalcooleira é o período relativamente curto da safra, que costuma variar entre 5 e 7 meses. No país, a moagem da cana-de-açúcar ocorre, geralmente, do fim de maio ao início de dezembro(CORTEZ, GUERRA & LAMPARELLI, 1991). Além desta perversa sazonalidade gerar o conhecido bóia-fria, fica claro que isto leva, também, a um baixíssimo fator de utilização de capacidade dos equipamentos da usina, com as suas implicações econômicas negativas.

Para resolver este tipo de problema, pesquisas têm sido realizadas, no Brasil e no exterior, para a utilização, por exemplo, do sorgo sacarino como forma de estender o período da safra. Nesta área têm atuado, no Brasil, com destaque, tanto a COPERSUCAR quanto a EMBRAPA(CORTEZ, GUERRA & LAMPARELLI, 1991).

Pesquisas da EMBRAPA apontam, inclusive, para a possibilidade de estender-se o período de moagem da cana por mais 60 dias, além do normal, bem como de se obter um rendimento para o sorgo igual a 3.500 litros/hectare ano. Porém, um rendimento esperado para a cana-de-açúcar, na mesma pesquisa, aponta para um valor igual a 5.000 litros/hectare ano(CORTEZ, GUERRA & LAMPARELLI, 1991).

Diferentemente do que ocorreu no resto da América Latina, onde áreas geoeconômicas distintas constituíram diversos países, o Brasil conglomerou regiões com diferentes padrões de vida, níveis de atividade e potencial de produção(MAGALHÃES, KUPERMAN & MACHADO, 1991). Este diferencial entre as regiões age como um outro tipo de agente nas relações de poder que ajudam a determinar os destinos das produções de açúcar e álcool do país.

¹ Esta relação variava entre 0,825 e 0,840 para postos da cidade de Campinas, SP, em dezembro de 1996, conforme o jornal Correio Popular de 18/12/96.

O mais grave, neste contexto, é que os setores mais dinâmicos, como diversos segmentos industriais, implantados em regiões de melhor infra-estrutura e mercado mais amplo, passaram a dificultar, através da concorrência, a implantação de atividades equivalentes nas zonas atrasadas. Por esse motivo, programas como o PROÁLCOOL, que tem tendência à dispersão espacial, são de grande importância na correção das disparidades sociais existentes entre as diversas regiões produtoras do país (MAGALHÃES, KUPERMAN & MACHADO, 1991).

6.3 O Meio Ambiente

Dois dos maiores problemas de poluição que ocorrem durante a produção de etanol são: o uso inadequado de agrotóxicos e o despejo de vinhoto nas vias fluviais.

Dados concernentes à intoxicação dos trabalhadores agrícolas do setor, quando do uso de agrotóxicos, são escassos. Um programa buscando minorar este sério problema foi recentemente instalado por algumas instituições na região de Campinas.

Segundo Martins (1996), o programa reunirá uma série de entidades e visa a adoção de algumas importantes medidas. Uma delas é a notificação compulsória, pela rede hospitalar de Campinas, dos casos de intoxicação com agrotóxicos, seguindo o exemplo do que hoje ocorre com casos como o de desnutrição, AIDS e outras doenças infecto-contagiosas.

Desta forma torna-se possível saber de que região do município procede o trabalhador que se intoxica, ou com que tipo de cultura ele trabalhava enquanto se intoxicou, assim como a utilização inadequada de um determinado tipo de produto.

Ainda de acordo com Martins (1996), o mapeamento do uso dos agrotóxicos no município deverá ser complementado através do monitoramento do uso das terras da região de Campinas por um Núcleo da EMBRAPA. Estudos feitos por este Núcleo indicaram que o uso intensivo e pouco adequado de agrotóxicos contribuíram, de uma forma definitiva, para a degradação do solo e dos recursos hídricos na divisa dos municípios de Campinas e Indaiatuba.

Hoje em dia já existe tecnologia suficiente para lidar de forma adequada com o vinhoto, o maior resíduo, ou subproduto, da produção do etanol. A FINEP, por exemplo, apoiou o desenvolvimento de um biodigestor que permite uma drástica redução do tempo de permanência do vinhoto e dos resíduos das águas do processo neste tipo de equipamento.

Segundo a própria FINEP, esta solução pode viabilizar a neutralização da imensa carga poluidora representada pelos grandes volumes desses efluentes originados das destilarias (quase 13 litros de vinhoto, em média, para cada litro de etanol produzido), além de oferecer a possibilidade do uso do biogás que é produzido através da utilização deste processo. Pode-se utilizar o biogás como combustível e os efluentes, após tal tratamento, são menos poluidores, sendo, inclusive, aplicados na lavoura como biofertilizantes.

Um impacto positivo óbvio da utilização do etanol como combustível são as suas emissões de poluentes nos escapamentos dos motores, em geral inferiores às emissões liberadas pela combustão dos combustíveis convencionais que ele substitue, como a gasolina e o óleo diesel. Mas nunca é demais lembrar que as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e aldeídos, emitidas pelos motores a álcool, também são potencialmente negativas à saúde da população do país, especialmente nas grandes zonas urbanas.

O bagaço da cana e o vinhoto são os principais resíduos que resultam da produção do álcool, assim como a fuligem resultante das queimadas dos canaviais. A maior parte do bagaço é queimada nas plantas de cogeração das usinas; o resto costuma ser vendido como combustível ou matéria-prima. O vinhoto pode gerar gravíssimos problemas ambientais se for lançado diretamente, sem tratamento, nos rios.

Segundo Magalhães, Kuperman & Machado (1991), no caso das usinas filiadas à COPERSUCAR, 63 por cento do vinhoto é utilizado na lavoura como fertilizante. O restante é desviado para áreas de despejo. O plano é aplicar a totalidade do vinhoto na lavoura.

Um papel histórico do PROÁLCOOL, em relação à poluição, tem sido a substituição do chumbo, como elevador do número de octanas da gasolina, pelo álcool anidro. Nos Estados Unidos e na Europa demonstrou-se que 95 por cento da contaminação que ocorre pelo chumbo resulta das emissões dos carros à gasolina. Especialmente afetadas por estas emissões são as crianças de até 6 anos de idade. Pesquisas nos EUA mostram que em certas áreas urbanas esta contaminação por chumbo, a das crianças, equivale à de adultos trabalhando em áreas altamente contaminadas (MAGALHÃES, KUPERMAN & MACHADO, 1991).

A gasolina é um combustível mais poluidor que o etanol. Foi o que mostraram as medições realizadas pela CETESB, agência ambiental do governo do Estado de São Paulo. A diferença quantitativa das emissões dos dois combustíveis é muito pequena, com uma leve vantagem para o álcool. Mas se a análise for qualitativa e tomar por base a nocividade das substâncias lançadas na atmosfera, o álcool se mostra claramente menos nocivo. Isto vale tanto

para as pessoas como para o meio ambiente, afirma Claudio Darwin Alonso, gerente do departamento de qualidade ambiental da CETESB(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996a)

A tabela 6.1 indica os limites máximos permitidos das emissões de álcool e de gasolina, conforme estabelecidos no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE. Além disso, a tabela 6.1 também indica emissões típicas de veículos movidos a álcool e a gasolina, com uma idade média de cerca de 6 anos, para fins de comparação.

Tabela 6.1 Limites de emissões do PROCONVE e emissões típicas de veículos brasileiros com 6 anos de uso, em g/km

Normas ou Combustível	CO	HC	NOx	Aldeídos	Evaporados
Gasolina	22	2,0	1,9	0,04	23
Álcool	16	1,6	1,8	0,11	4,3
PROCONVE (88-91)	24	2,1	2,0	-	6,0
PROCONVE (92-96)	12	1,2	1,4	0,1	6,0
PROCONVE (97-*)	2	0,3	0,6	0,02	6,0

Fontes: (D'AVIGNON, 1993) & (FOLHA DE SÃO PAULO, 1996a)

Os aldeídos são substâncias que irritam as mucosas e podem causar câncer. Os formaldeídos, que se formam na combustão da gasolina, são tidos como cerca de até 100 vezes mais nocivos que os acetaldeídos, que são encontrados, por sua vez, na combustão do etanol(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996a).

Borges & Arbex (1994) afirmam que um argumento a favor do álcool é o seu desempenho sob o ponto de vista ambiental. Em seu texto eles citam Böhm (1991) e lhe atribuem a seguinte afirmação: “Certamente, nenhuma poluição dos gases de escapamento de carros a álcool sequer se aproxima dos níveis de aldeídos acéticos fornecidos por uma dose dupla de cachaça ou de uisque”.

Os pulmões das pessoas que ficam expostas constantemente à poluição são cerca de duas vezes mais “inflamados” que os pulmões das pessoas que não ficam. É este o resultado de

um estudo que foi realizado entre 1993 e 1994 por Paulo Saldiva, vinculado ao Departamento de Poluição Ambiental da Faculdade de Medicina da USP(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996b).

De acordo com este cientista, uma pesquisa realizada na Universidade de Harvard, EUA, indicou que “a inflamação crônica, o esforço que o pulmão faz para se adaptar a um ambiente poluído, faz com que haja uma redução discreta na expectativa de vida”. Saldiva também afirma que as pessoas mais afetadas são aquelas que já possuem algum comprometimento de saúde(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996b).

Ainda de acordo com Paulo Saldiva, são os metais ferro, cobre e manganês (associado ao uso do MTBE), que amplificam a geração de radicais livres no corpo humano. Eles estão presentes no material particulado chamado de ultrafino. “A diferença entre esse material dentro e fora de casa é praticamente nula, o que faz com que as pessoas não consigam se proteger”(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996b).

O MTBE misturado à gasolina é potencialmente cancerígeno, especialmente quando inalado ou ingerido por via oral. A conclusão consta de um relatório elaborado em fevereiro de 1996 pelo National Science and Technology Council, órgão vinculado ao gabinete da presidência do governo dos EUA. Este laudo, encaminhado ao Ministério Público da Cidade de Campinas, poderia reunir elementos para a instalação de um inquérito civil(CORREIO POPULAR, 1996b)

6.4 Concentração de Renda e Diminuição da Mão-de-Obra

As economias de integração, ou verticalização, constituem um dos principais motivos do sucesso ou fracasso das companhias que agem em um determinado segmento.

O setor da cana-de-açúcar é fortemente verticalizado, ou seja, há muitas usinas que detém todo o processo de produção do açúcar e/ou do álcool, desde o plantio da cana-de-açúcar até a venda do produto final na porta da fábrica.

Este tipo de sistema é, segundo Manoel (1986), concentrador de poder e de renda, bem como auferidor de economias de escala, devido às suas características de produção.

Por exemplo, a integração entre os períodos de colheita e de moagem deve ter a menor duração possível. A colheita deve coincidir com a fase ótima de maturação da cana-de-açúcar que, para cada tipo de variedade, não costuma atingir mais que três meses. Adiciona-se a isto o

fato de que a moagem deve ser realizada imediatamente após o corte da cana, de modo a evitar importantes perdas no teor de sacarose. Esse processo é melhor gerenciado em uma usina verticalizada(MANOEL, 1986).

A existência de destilarias de álcool anexas às usinas de açúcar contribui para o aumento da concentração industrial no setor. Com o PROÁLCOOL, o advento das usinas anexas incentivou o aumento do valor da produção do complexo agroindustrial, considerando-se a possibilidade, agora existente, de balanceamento entre a produção do açúcar e do álcool. Isto garante um aproveitamento mais racional da matéria-prima em função dos mercados local e internacional. Ou seja, estas economias de integração favorecem o crescimento das unidades produtivas no setor sucro-alcooleiro que possuam tais características(MANOEL, 1986).

Ademais, esta vinculação da produção agrícola à industrial acaba determinando, inclusive, a qualidade da matéria-prima a ser produzida. Com efeito, a escolha das variedades para plantio, além da dependência com respeito à manutenção, época de plantio, adaptação às condições locais de solo, clima, etc., é influenciada, também, pelo destino industrial, previsto na forma de álcool ou açúcar(MANOEL, 1986).

O processo de expansão provocado pelo PROÁLCOOL não se resumiu a mudanças exclusivamente quantitativas de área e volume de produção. Avanços significativos na qualidade também foram alcançados, especialmente no estado de São Paulo.

Embora existam muitas divergências quanto a vários aspectos do Programa Nacional do Álcool, a maioria absoluta concorda em um ponto: houve uma tendência de melhoria nos indicadores de rendimento do programa. Pode-se discordar da intensidade e da velocidade, mas não da direção desta tendência, o que demonstra, inequivocamente, um processo de aperfeiçoamento do setor(FISCHER, 1995).

Mas nem tudo são águas mansas na questão do desenvolvimento tecnológico do setor. Manoel (1986) cita um técnico do PLANALSUCAR: “O sistema de pesquisa e desenvolvimento é uma das componentes básicas para se estabelecer uma política que tenha como objetivo atender, simultaneamente, a todos os grupos sociais envolvidos, de forma a reduzir as disparidades prevaescentes. Mas o programa de pesquisa e desenvolvimento vem sofrendo críticas constantes de fornecedores de cana em face de seu caráter discriminatório, em benefício da classe dos usineiros, e observa-se que é verdade, esta crítica tem procedência”.

Em função desta evolução tecnológica tem ocorrido uma crescente mecanização nos processos de trabalho, nas usinas e canaviais. O preparo das terras para o plantio, a adubação, o plantio, o trato dos canaviais, a aplicação de defensivos; são várias as atividades que

incorporam processos mecânicos. Tudo isto reduz e redefine o emprego da força de trabalho nos canaviais. Quando muda a composição técnica e orgânica do capital, crescendo bastante o capital imobilizado em terras, máquinas, equipamentos, instalações, etc. Muda, e aqui decresce, o montante do capital investido na compra da força de trabalho (FISCHER, 1995).

6.5 Melhorias Técnicas Significativas no Setor Agrícola e Industrial

Em julho de 1996 já havia começado a venda de energia elétrica excedente em dez unidades produtoras do setor sucro-alcooleiro. Esta energia estava sendo comprada tanto pela CESP quanto pela CPFL. Estas empresas concessionárias compravam esta energia a tarifas situadas entre 0,011 e 0,035 reais/kWh e a revendiam aos consumidores residenciais da rede pública por cerca de 0,07 reais o kWh² (CASTRO, 1996)

Considerando-se os gastos com a instalação do sistema de transmissão, de interligação e outros, fica difícil de se estimar qual a margem de lucro das concessionárias e das usinas neste negócio. Algo porém é certo, quanto maior a vida, ou melhor, o tempo de utilização do material fixo instalado, mais alto é o retorno de capital.

Em 1996 a CPFL estava pagando US\$ 11,87 por MWh para contratos de cogeração com validade de 1 ano. Usinas que tivessem firmado contratos de venda de eletricidade excedente por dez anos estavam recebendo US\$ 35,33 por MWh (CASTRO, 1996).

As plantas de cogeração das usinas sucro-alcooleiras no Brasil só tem consumido o bagaço de cana como combustível, mas Castro (1996) afirma que, enquanto um hectare de cana-de-açúcar geralmente fornece 23,4 toneladas de bagaço, a mesma área poderia fornecer, adicionalmente, 25 toneladas de palhico, que é a palha e o ponteiro da cana crua cortada. Além disso, o poder calorífico do palhico, 2800 kcal/kg, é cerca de 60 por cento maior que o poder calorífico do bagaço, 1750 kcal/kg. A utilização do palhico, contudo, depende da introdução da colheita mecanizada, que, desafortunadamente, poda cana crua e empregos.

² Em 21 de novembro do mesmo ano, em função da utilização da tarifa escalonada para o setor residencial, utilizada na área de concessão da CPFL, os primeiros 30 kWh mensais consumidos custavam 0,04514 reais cada. Entre 30 e 100 kWh mensais consumidos, cada kWh passava a custar 0,07739. Ao se atingir um consumo acima de 100 kWh mensais o kWh passava a custar 0,11608 reais. Percebe-se, desta forma, que o valor citado por Castro (1996) deve ter valor simbólico.

A tabela 6.2 mostra a capacidade instalada e a excedente de algumas usinas brasileiras que vendiam energia elétrica excedente em 1995. Todas estas usinas estão localizadas no Estado de São Paulo.

Tabela 6.2 Usinas brasileiras do setor sucro-alcooleiro que vendiam eletricidade em 1995

Nome da Usina	Produção (tons. de cana por dia)	Capacidade Instalada (MW)	Capacidade Excedente (MW)
Santa Adélia	10.000	8	1
São Martinho	35.000	19	1,6
São Francisco	6.700	3	0,3
Cresciumal	6.000	5,4	0,3
N.S. Aparecida	7.600	5,8	1
Santa Cruz O.P.	18.000	11,4	1,2
Ester	9.000	7,4	1
Vale do Rosário	17.000	16	4
Santa Elisa	22.000	13	5
Santa Lydia	5.700	5	0,5
Bonfim	20.000	14,4	1,2
Nardini	5.000	6,4	0,5

Fonte: (INTERNATIONAL CANE ENERGY NEWS, 1995)

Conforme Walter (1994): “O potencial de cogeração existente só poderá ser melhor aproveitado se forem introduzidas junto ao setor sucro-alcooleiro, no Brasil, tecnologias que permitam um aumento da oferta de biomassa, via mecanização da colheita, e a produção de eletricidade também durante o período de entre-safra. O desenvolvimento da tecnologia de gaseificação do bagaço e de pontas e folhas da cana e o consequente emprego de turbinas a gás como máquinas motrizes, permite a ampliação do potencial em pelo menos 50 por cento, em relação ao potencial associado aos sistemas a vapor com turbinas de extração-condensação”.

Há um razoável número de pesquisadores, no país e no exterior, com trabalhos vinculados ao setor sucro-alcooleiro, que têm se dedicado, principalmente, ao estudo da fase

industrial do setor, especialmente a nível teórico. Isto ocorre, principalmente, nas universidades. Mas, na realidade, muito pouca pesquisa tem sido feita para a valorização dos subprodutos da indústria do açúcar e do álcool(CORTEZ, MAGALHÃES & HAPP, 1992).

Ainda segundo Cortez, Magalhães & Happ (1992), no Brasil, com o desenvolvimento do Programa Nacional do Álcool, o setor público tem se afastado das pesquisas nesta área, e este espaço tem sido ocupado pelo setor privado, notadamente pela COPERSUCAR.

Havia no país, em 1995, cerca de 324 usinas de açúcar e álcool ainda em operação (ZIONI, 1995). Apesar das safras virem mantendo uma produção superior a 200 milhões de toneladas de cana-de-açúcar cortadas a cada ano, há mais de uma década, o número total de usinas vem caindo. Os dados globais relativos à safra de 1995 estão indicados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 Produção de cana, açúcar e álcool na safra 1995/96

PRODUTO	BRASIL	CENTRO-SUL	NORDESTE
Cana-de-açúcar	242 milhões tons.	200 milhões tons.	42 milhões tons.
Açúcar	12 milhões de tons.	9 milhões tons.	3 milhões tons
Álcool	13,3 bilhões de litros	11,3 bilhões litros	2 bilhões litros

Fonte: (ZIONI, 1995)

Os rendimentos hoje são bem melhores do que já foram no passado e esta busca pelo aumento da produtividade acompanha a cana-de-açúcar há séculos. Contudo, já neste século, na década de vinte, o cultivo das canas nobres foi substituído por variedades híbridas advindas de cruzamentos, que ocorreram em outros países. Isto aconteceu em função da decadência no cultivo das canas nobres causada pela praga da cana que é conhecida popularmente como mosaico. Esta geração de canas importadas, após anos de adaptação, tornou-se a progenitora das variedades nacionais, que, progressivamente, foram se impondo, já na década de cinquenta, em relação às demais variedades(MIOCQUE, 1993).

Os resultados que se obtiveram com programas visando melhoramentos no cultivo da cana-de-açúcar foram sensíveis. O método de polenização de inflorescência é de grande valia. Era pensamento, em décadas passadas, que 1 por cento a mais de açúcar na cana seria suficiente para pagar, decorridos 10 anos, o custo do programa de melhoramentos da COPERSUCAR. Ora, os resultados surpreenderam mesmo alguns dos mais otimistas. Na realidade, na última década, o aumento foi tal que chegou perto de 10 por cento, ao se

considerar apenas os ganhos provenientes do manejo adequado de melhores variedades(MIOCQUE, 1993).

Em síntese, o rápido crescimento no processo de difusão de variedades nacionais é um indicador do sucesso alcançado pelo Programa de Melhoramentos da Copersucar. A difusão destas variedades levou a uma maior produtividade na lavoura e permitiu que fossem enfrentados problemas específicos nas décadas passadas. Dentre estes problemas, destacam-se as doenças conhecidas como “carvão” e “ ferrugem”. Caso não existissem as novas variedades, o “carvão” poderia ter dizimado o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo(OLALDE, 1992).

Em 1987 a COPERSUCAR montou seu Laboratório de Desenvolvimento Industrial, com um investimento de cerca de US\$ 2,5 milhões, para trabalhar em três sub-áreas: Materiais, Biotecnologia e Instrumentação e Controle de Processo. O Laboratório de Biotecnologia, por exemplo, possui dois fermentadores de bancada, um fermentador piloto, um luminômetro para medir níveis de atividade celular e um laboratório de microbiologia. Nele, a COPERSUCAR procura reproduzir em escala de laboratório o processo industrial, de forma a poder isolar o efeito de determinadas variáveis sobre o desenvolvimento de um determinado processo, como, por exemplo, o fermentativo. O laboratório também pode, no entanto, comportar a montagem de projetos pilotos(OLALDE, 1992).

No que se refere ao melhor aproveitamento dos subprodutos do setor, a COPERSUCAR tem trabalhado bastante com o bagaço. Embora este subproduto tenha sido utilizado majoritariamente, até o momento, como combustível, são diversas as aplicações para as quais ele se presta. Entre estas destaca-se a sua utilização como base de ração animal. Pesquisas sobre o aproveitamento do bagaço para obtenção de fibras também estão sendo realizadas, em um convênio com o Forest Laboratory, dos EUA. O custo destas pesquisas tem sido da ordem de US\$ 60 mil por ano. Já se instalou uma planta piloto para a produção das fibras, visando o desenvolvimento futuro de produtos, tais como papel e painéis para a construção civil(OLALDE, 1992).

Desenvolvimentos em outros setores, como o de fermentação, por exemplo, também têm se feito sentir nos últimos anos. Inclusive quanto ao processo de fermentação contínua, que muitos acreditam que não seja apropriado para o uso intensivo em usinas, apresentou um ressurgimento com o emprego por várias usinas de um processo de fermentação contínua que foi desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas, em seu laboratório do CPQBA.

Os pesquisadores descobriram na terra, dos canaviais, o *aspegirus*, um fungo capaz de quebrar a molécula de sacarose. Desenvolveu-se, a partir daí, o *new sugar*, que provoca menos cárie e tem menor tendência à causar o acúmulo de gorduras no organismo. Em algumas horas é possível transformar álcool em diamante através de um filamento aquecido a 2200°C quebra moléculas de álcool em uma câmara pressurizada onde átomos do elemento carbono se acumulam sobre uma placa contendo silício, desta forma produz-se diamante nas mais variadas formas. Enquanto isso, em Cuba, foi desenvolvido, por exemplo, o remédio PPG, que combate o colesterol, aumenta a disposição física de modo geral e tem sido exportado para vários países. Ele combate, segundo especialistas, doenças vasculares em geral. O PPG é um derivado da cana-de-açúcar.

6.6 Transporte Coletivo e Privado

A nível global, o principal problema para o meio ambiente parece ser o efeito estufa. Dentre as emissões de gases poluentes oriundas dos veículos automotores, as que mais são acusadas de causá-lo são as emissões de dióxido de carbono e de óxidos de nitrogênio. Os veículos a combustão interna são responsáveis por cerca de 14 a 16 por cento, e 25 a 30 por cento, respectivamente, do total destas emissões no planeta (SERAGELDIN, 1994).

Os veículos automotores particulares, que constituem a maior parte do parque mundial de veículos, são grandes consumidores de recursos naturais. Eles demandam cerca de 60 por cento da produção mundial de borracha natural, 20 por cento da de aço e 10 por cento da de alumínio. Estima-se, também, que há uma necessidade que varia entre 5 e 20 metros de vias públicas por veículo, nas maiores cidades do mundo (SERAGELDIN, 1994).

Calcula-se que os veículos produzem de 90 a 95 por cento do monóxido de carbono e do chumbo, de 60 a 70 por cento do óxido de nitrogênio e de 40 a 50 por cento dos hidrocarbonetos emitidos nas zonas urbanas do planeta. No geral, tem havido uma deteriorização na qualidade do ar das cidades dos países em desenvolvimento, enquanto que nos países da OCDE a tendência tem sido de uma melhoria.

Todos os anos, mais de 500 mil pessoas morrem em acidentes viários. Setenta por cento destas mortes ocorrem em países em desenvolvimento, onde existem menos automóveis e mais pessoas. Dois terços dos acidentes fatais envolvem pedestres, dos quais um terço é de

crianças. A taxa de mortalidade de pedestres por acidente, para uma população de 10.000 veículos, é vinte vezes maior nos países em desenvolvimento que nos industrializados(SERAGELDIN, 1994).

Serageldin (1994) propõe algumas medidas para se diminuir as consequências nefastas de mais este flagelo do terceiro mundo: a) aplicação de legislação mais severa em relação a dirigir embriagado; b) uso obrigatório de cinto de segurança; e c) multas severas para abusos em termos de excesso de velocidade.

Contudo, conforme esse autor, o fator mais importante no sucesso de tais operações de promoção de segurança viária reside na vontade política dos poderes públicos, nos seus níveis mais elevados. As autoridades japonesas tiveram um engajamento desse tipo no início dos anos 1970 e têm alcançado resultados excepcionais, com aumento da frota e uma redução dos acidentes mortais de circulação pela metade. Um programa parecido, aplicado na Austrália, no Estado de Vitória, conduziu a resultados semelhantes.

Com relação ao sistema de transportes das grandes metrópoles, é preciso o reconhecimento de que este sistema engloba o andar a pé, a bicicleta, de ônibus, de trem e de carro. O sistema de transportes urbano deve ser centrado no fato de que as necessidades dos cidadãos devem prevalecer sobre as necessidades dos veículos. Cada modo de transporte deve ter seu próprio nicho(SERAGELDIN, 1994).

Deve ficar claro, nesta altura do texto, o que já era de se esperar: modos de transporte coletivos, além de serem mais seguros, são muito menos poluentes que o transporte individual, em automóveis. Ônibus, metrô e trens transportam mais passageiros, são mais seguros e poluem menos o ambiente, logo, deveriam ser a primeira opção dos poderes públicos e da população em geral.

Nas cidades orientadas para o transporte coletivo, a ênfase deve ser colocada em sistemas de transporte público eficientes, oferecendo fácil acesso aos pedestres, ciclistas e automobilistas. Em Tóquio, por exemplo, grandes esforços foram dispendidos para promover a utilização do trem e para criar locais de estacionamento de bicicletas. A porcentagem dos passageiros indo de bicicleta à estação passou de 1,9 por cento em 1968 para 9,7 por cento em 1988(SERAGELDIN, 1994).

Muitas cidades européias já fizeram essa escolha e hoje reforçam ainda mais a sua posição. Conforme Serageldin (1994), os deslocamentos em transporte público representam cerca de 25 por cento de toda a mobilidade urbana na Europa, enquanto que atingem, respectivamente, somente 4 e 8 por cento nos Estados Unidos e na Austrália.

No Brasil a situação é diferente da Europa e do Japão, por exemplo, onde existem cidades de médio porte umas próximas às outras, embora existam situações similares no país, como são os casos das áreas metropolitanas de Santos, Campinas, Curitiba e Porto Alegre. Na maior parte dos casos, porém, o trânsito urbano é extremamente caótico nas grandes metrópoles mundiais, e aí se inserem São Paulo e o Rio de Janeiro.

Desta forma, as cidades brasileiras exigem soluções específicas, o que, ao contrário do que alguns poderiam esperar, deveria incentivar a busca de soluções mistas, baseadas em exemplos nacionais e internacionais bem sucedidos. O conceito de cidades irmãs, surgido na miscelânea da globalização mundial, é um conceito que pode ser utilizado para encontrar soluções para este gênero de problemas.

Quando as cidades começam a se adaptar aos automóveis mais do que a seus habitantes, sua qualidade de vida decresce imediatamente. Os acidentes de circulação aumentam, assim como os níveis de ruído e de poluição. Isto é evidente mesmo em países economicamente desenvolvidos como os Estados Unidos, onde os centros das grandes cidades ficam desertos depois da caída da noite, onde se torna difícil atravessar as ruas com segurança e onde praticamente nenhum dispositivo existe para proteger ciclistas, usuários de transportes públicos e pedestres(SERAGELDIN, 1994).

No Brasil existem problemas relacionados ao transporte de grandes populações em algumas cidades. A solução que algumas delas, como Campinas e Belo Horizonte, têm adotado para minorar este problema é a substituição de ônibus comuns por ônibus de maior capacidade. Cada um destes ônibus substitue quase dois ônibus convencionais. Existe a necessidade de mais corredores específicos para tais ônibus. São Paulo, Curitiba e Salvador são exemplos bem sucedidos no emprego destes corredores(CORREIO POPULAR, 1996e).

6.7 O Mundo do Engenho

Segundo Borges & Abex (1994), a agroindústria canvieira é um importante setor gerador de empregos, por ser intensiva no uso de mão-de-obra. Estes autores estimam que haja mais de 200 mil trabalhadores, só no Estado de São Paulo, ocupados diretamente por esta agroindústria. Destes, cerca de 30 por cento seriam trabalhadores especializados, cerca de 10 por cento seriam semi-especializados e 60 por cento, a grande maioria, seria composta por

trabalhadores não especializados. Outros autores estimam que, no Brasil, o número de trabalhadores diretamente vinculados a agroindústria canavieira chegue próximo a 800 mil.

Ao se estudar a força de trabalho da agroindústria canavieira deve-se, porém, levar em conta a existência de uma grande variedade de trabalhadores. Andrade (1994) classifica-os em três grandes categorias: a) a dos empregados ligados a administração; b) a dos empregados industriais; e c) a dos trabalhadores agrícolas.

Hoje, uma usina ou destilaria é um empreendimento que precisa operar adequadamente, de forma a se manter num mercado antropofágico. Desta maneira, ela necessita manter em seus quadros um corpo técnico adequado, geralmente de nível superior. Há, também, a necessidade de pessoal com escolaridade média, técnica ou não. As relações de trabalho entre as usinas e esse pessoal não apresentam peculiaridades que as distingam de outras relações entre empresas e empregados. Estas relações trabalhistas são regulamentadas pela Consolidação das Leis do Trabalho e pelas leis que reformaram, em parte, os seus dispositivos(ANDRADE, 1994).

Algo parecido se dá com a classe formada pelos operários industriais, que habitam nas cidades próximas às usinas ou em vilas operárias especialmente construídas para abrigá-los. Atualmente a empresa consegue escapar desta obrigação, transferindo-a para o Estado, que, através de programas habitacionais, muitas vezes permite ao operário adquirir sua casa própria. A vida do operário industrial da usina assemelha-se à vida do operário de uma fábrica usual(ANDRADE, 1994).

A quantidade de operários altamente especializados, porém, é proporcionalmente pequena, quando em comparação com os outros tipos de trabalhadores das usinas. Mas seria impossível de se negar que estes segmentos pesam na formação das sociedades locais. Dão-lhes um perfil mais heterogêneo do que aquele encontrado em cidades onde a atividade econômica predominante é a de produção agrícola de produtos não imediatamente industrializados(FISCHER, 1995).

Nesta linha de pensamento, deve ser registrada, ainda, a existência de uma imensa rede de prestadores de serviços que atuam na periferia do sistema produtivo da agroindústria. Há um variado conjunto de atividades que não interessa à usina, ou destilaria, realizar diretamente; ela, portanto, os repassa a terceiros. Estas atividades vão desde a construção civil até a manutenção de veículos, passando pelo transporte dos trabalhadores agrícolas(FISCHER, 1995).

Por sua vez, o bóia fria que trabalha com um empreiteiro, na condição de clandestino³, é comandado por sua *disposição*. Este é o termo empregado pelos trabalhadores quando eles se referem ao seu esforço e força de vontade no intuito de ganhar mais, a fim de poder dar algum conforto à família, de ter crédito garantido e de não passar vergonha. Desde que não esteja doente, o trabalhar segundo a sua *disposição* é diferente do trabalhar tendo um limite, tendo uma média, ou seja, o trabalhar por tarefas(SIGAUD, 1979).

Por outro lado, trabalhadores registrados no engenho não podem ultrapassar a média estabelecida para eles. Este tipo de trabalhador trabalha por um salário fixo. A questão da média é colocada de uma maneira mais grave durante a entressafra, não sendo costume se impor esta média na época de moagem, quando há interesse do usineiro ter uma grande quantidade de cana moída, tanto que requer, inclusive, a contratação informal de empregados extras, os clandestinos(SIGAUD, 1979).

Há vezes em que se interrompe o corte de cana para os trabalhadores registrados, deixando-o na mão dos clandestinos, o que, segundo Sigaud (1979), significa a instalação de um mecanismo de pressão para a expulsão de trabalhadores e moradores indesejados. O trabalho executado através da mediação de um empreiteiro dificilmente tem média. Os empreiteiros estão sempre incentivando os trabalhadores clandestinos a cortar o máximo de cana que estes puderem. “Comigo podem tirar até dez toneladas por dia. Quem diz é a disposição do trabalhador”, afirma um empreiteiro.

A impressão que se tem ao ler Sigaud (1979), é que a vontade dos usineiros é a de terem trabalhando consigo a menor quantidade de trabalhadores fixos e com carteira assinada, mas, por outro lado, de aumentar o número de trabalhadores clandestinos. Quase vinte anos se passaram desde o momento histórico relatado por Sigaud (1979). O que se observa, no entanto, é que, de alguma maneira, esta tendência continua, com a introdução de colheitadeiras mecânicas nos canaviais e a conseqüente diminuição e expulsão da mão-de-obra excedente para a periferia das grandes cidades.

Mas o empresário, que, em geral, vive e mora nas cercanias da usina, é submetido, como os demais cidadãos, aos males e benefícios originados pela expansão dos canaviais. O espaço que, se fosse outra situação, poderia ser visto unicamente como recurso produtivo, se confunde com outros significados. Adquire sentidos que fogem dos restritos limites da lógica racional empresarial, para ganhar uma conotação de espaço vivo, de ambiente onde a devida adequação dos seres nele existentes deve ser levada em consideração(FISCHER, 1995)

³ Sem vínculos empregatícios formais.

Em razão dos programas sociais, do estímulo recebido através dos salários, do maior entendimento entre empregados e patrões e de programas de treinamento de mão-de-obra, o ganho de produtividade no corte de cana tem sido elevado. Este rendimento, medido em toneladas cortadas por dia de trabalho, tem evoluído à uma taxa média de 2 por cento ao ano(COPERSUCAR, 1989).

Por força da lei, 1 por cento do preço líquido da cana e do açúcar e 2 por cento do preço líquido do álcool devem ser aplicados em investimentos sociais para os trabalhadores do setor. Os recursos costumam ser aplicados em programas de assistência médica, hospitalar, farmacêutica, odontológica, sanitária, educacional e recreativa(COPERSUCAR, 1989).

A aplicação de recursos na área de assistência é um incentivo, pois financia o investimento em infraestrutura e permite a formação do parque de equipamentos sociais hoje instalado nas usinas e destilarias. Sob o ponto de vista do Estado, essa aplicação também é um incentivo, pois ajuda a financiar o desenvolvimento dos serviços, principalmente os relativos à saúde, não atendida de modo adequado pela administração pública, de uma forma geral(CABRAL, 1990).

A tabela 6.4 indica a remuneração dos trabalhadores da agroindústria canavieira paulista, em suas várias modalidades, em comparação com os trabalhadores, em geral, deste mesmo estado. Ela foi elaborada considerando-se apenas o período da safra. Na entressafra considerou-se um piso mínimo de cerca de um salário mínimo para o trabalhador do setor sucro-alcooleiro. Há, portanto, que se ler esta tabela com um cuidado redobrado.

Segundo COPERSUCAR (1989), estes pisos indicam que o ganho familiar dos trabalhadores do setor no estado de São Paulo situa-se acima do ganho de 50 por cento das famílias brasileiras. Para se chegar a esta estimativa, considerou-se dois trabalhadores por família, cada um deles com uma renda mensal de 3,5 salários mínimos de referência durante a safra e um salário mínimo de referência durante a entressafra. Procurou-se, com este procedimento, captar os efeitos da entressafra na remuneração média anual de cada trabalhador. Considerou-se que o trabalhador, na entressafra, estaria subempregado, ganhando menos que o piso nacional dos salários.

A distribuição de terras no Brasil é uma verdadeira vergonha nacional. Nem na Alemanha de Hitler ou na Rússia de Stalin se encontrou um absurdo desse. A reforma agrária precisa ser feita, bem-feita e com urgência. Os sem-terra são uma verdadeira bomba-relógio que precisa ser desarmada e com extrema urgência.

Tabela 6.4 Remuneração da mão-de-obra não qualificada e semi-qualificada, na agroindústria canavieira paulista, no período da safra, e em outras atividades da economia do estado, em setembro de 1988

TIPO DE FUNÇÃO DO OPERÁRIO	SALÁRIO MÍNIMO DE REFERÊNCIA
Operário Industrial:	
Agroindústria canavieira	3,4
Outros	3,2
Motorista:	
Agroindústria canavieira	4,2
Outros	4,0
Tratorista:	
Agroindústria canavieira	3,8
Outros	3,5
Trabalhador da lavoura	
Trabalhador da lavoura	3,4
Catador de cana	4,0
Cortador de cana volante	5,0

Fonte: (COPERSUCAR, 1989)

Na quarta-feira, 3 de julho de 1996, o jornal Folha de São Paulo deu a seguinte notícia: "Cerca de 1.200 trabalhadores rurais, segundo a Polícia Militar, ou 3.000 conforme os organizadores, participaram em Recife de manifestação em favor da reforma agrária e por mais empregos no campo. Os agricultores -a maioria cortadores de cana da Zona da Mata- percorreram as ruas centrais da cidade e à tarde se concentraram em frente à sede do governo pernambucano."... "A PM acompanhou o protesto. Não houve conflitos"(FOLHA DE SÃO PAULO, 1996).

Segundo Mauro (1995), a reforma agrária significa uma mudança ampla na estrutura fundiária do país. Ele considera inadmissível que 0,83 por cento dos proprietários detenham em suas mãos 43 por cento das terras agricultáveis, enquanto que, no outro extremo, exista uma população, por ele estimada, de 4,8 milhões de famílias camponesas sem-terra. Destaque-

se, também, que 53 por cento dos agricultores possuem propriedades com menos de 10 hectares⁴.

A tabela 6.5 indica a distribuição das propriedades brasileiras segundo o tamanho das mesmas, consideradas em módulos fiscais, mostrando o número de propriedades enquadradas dentro de cada categoria de tamanho.

Tabela 6.5 Propriedades e seus tamanhos, sob o ponto de vista fiscal

Área x Propriedade	Pequena Propriedade (≤ 4 módulos fiscais)	Média Propriedade (> 4 e ≤ 15 módulos fiscais)	Grande Propriedade (> 15 módulos fiscais)
Percentual da área total	23,4%	19,9%	56,7%
Percentual do número de propriedades	89,1%	8,0%	2,8%

Fonte: (GONÇALVES, 1996)

A tabela 6.6 indica a classificação das terras nacionais segundo elas sejam produtivas, improdutivas ou não classificadas, nas várias regiões geográficas onde as mesmas se encontrem e no país como um todo. Estas estatísticas “falam por si só”!

Os assentamentos, locais onde a reforma agrária foi realizada no passado, também apresentam suas estatísticas, algumas bastante significativas. Gonçalves (1996) destaca, por exemplo, que, segundo a FAO, órgão das Nações Unidas, a renda média familiar nos assentamentos antigos é igual a 3,7 salários mínimos, praticamente igual, portanto, à renda média familiar urbana, segundo a mesma fonte. Verificou-se, também, que 37 por cento da renda gerada nos assentamentos é representada por alimentos consumidos pelas famílias e que apenas 22 por cento das famílias abandonaram seus lotes.

⁴ 1 hectare é igual a 10 mil metros quadrados. Um campo de futebol, para comparação, tem 7.150 metros quadrados.

Tabela 6.6 Classificação das terras em produtivas, não produtivas e não classificadas, em %, no Brasil como um todo e nas suas regiões

Classificação:	BRASIL	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sul	Sudeste
Produtivas	26,3%	13,6%	16,3%	34,1%	42,1%	39,6%
Não produtivas	62,4%	78,8%	69,5%	62,7%	42,5%	50,4%
Não classificadas	9,2%	7,6%	—	3,2%	15,3%	10%

Fonte: (GONÇALVEZ, 1996)

O assentamento dos sem-terra, localizado em Sumaré, a 26 km de Campinas, foi considerado modelo pelo então Ministro Extraordinário da Reforma Agrária, Raul Jungmann, e é um polo gerador de invasões (FOLHA DE SÃO PAULO, 1996e).

Este assentamento já serviu de modelo para outras sete invasões, em áreas do Estado de São Paulo. Mas hoje começa a enfrentar um novo desafio: os filhos dos antigos sem-terra procuram áreas para a produção agrícola.

Invadir terra de outrem é roubo, não deveria ser incentivado. Mas desapropriar a natureza de si mesma, e impedir que outrem possa produzir alimentos para a sociedade que tipo de crime seria? Apesar de não constar como crime na Constituição da República.

6.8 O Futuro do Programa Nacional do Alcool

Foram discutidas nesta tese uma série de tecnologias desenvolvidas no exterior com relação à utilização do álcool como combustível. A aplicação ou não destas tecnologias, tanto de produção quanto de utilização, dependerá não somente de questões econômicas mas de outras tantas tais quais fatores sociais, ambientais e da vontade política do governo brasileiro.

Nos últimos anos a tendência da produção de cana-de-açúcar no Brasil tem sido a de um aumento. De acordo com informações obtidas em entrevistas pessoais junto ao Centro de

Tecnologia da COPERSUCAR, a safra de cana no ano de 1997 ultrapassará os 270 milhões de toneladas em todo o país.

Os quase oitocentos mil trabalhadores estreitamente vinculados à produção de açúcar no Brasil seriam os maiores perdedores na hipótese de uma desativação do Programa Nacional do Alcool. Boa parte dos trabalhadores do setor sucro-alcooleiro se veria, nestas circunstâncias, obrigada a migrar para a periferia dos grandes centros urbanos onde se deparariam com as condições de vida existentes nestes locais.

Não se pode negar que sob o ponto de vista da saúde do trabalhador o trabalho executado por um cortador de cana, por exemplo, seja ele homem, mulher ou criança, é estafante e altamente danoso à saúde física. Não são estas as condições ideais nas quais realmente se espera que trabalhadores cumpram as suas tarefas. Mas será que a adoção de colheita através do uso das colheitadeiras mecanizadas passa pelo rol das melhores soluções para tal problema.

Com relação à utilização de etanol em motores a diesel, que já está provada e comprovada sobre o ponto de vista técnico, será que o custo econômico adicional de se adotar este combustível em grandes cidades não apresenta um ganho positivo quando é considerado o número de vidas humanas que deixaram de apresentar uma menor incidência de problemas respiratórios, ou mesmo o desenvolvimento de de câncer.

A produção de etanol a partir do que se definiu nesta teste como sendo biomassa, e que na situação brasileira seria o bagaço de cana-de-açúcar, é uma tecnologia não comprovada com relação à sua economicidade. Talvez não esteja entre as prioridades brasileiras e talvez possa vir a ser factível no Brasil somente na eventualidade de uma escassez de outros combustíveis automotores, quer venham eles virem a ser derivados do petróleo ou não.

A utilização de etanol na aviação é algo tão incerto sob o ponto de vista comercial que talvez não venha nunca a ocorrer senão em larga escala em um futuro incerto e talvez não existente.

Sob o ponto de vista internacional o Programa Nacional do Alcool no Brasil é, e assim tem sido nos últimos anos, uma esperança para toda a humanidade no sentido de que, mesmo na ausência de petróleo, a civilização conforme a conhecemos pode ter continuidade e, com uma vontade política mais representativa, até mesmo, quem sabe, um aperfeiçoamento.

A bateria de testes pelos quais o Programa passará nos próximos anos nos indicará o melhor caminho a ser atravessado para se alcançar o que é esperado de todos os seres humanos.

6.9 Produção de Etanol a Nível Mundial

Tabela 6.7 Países que apresentam produção de álcool carburante

PAÍSES CONSIDERADOS NESTE TEXTO	PRODUÇÃO DE ETANOL PARA USO COMO COMBUSTÍVEL MOTOR, 10 ⁶ litros
Estados Unidos	4600
União Européia	250
Brasil	16000
Quênia	16
Malavi	10
Zimbábue	36
Guatemala	3
Argentina	285
Paraguai	24
El Salvador	15

Os valores considerados na tabela 6.7 foram considerados a partir desta tese

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Diversas conclusões parciais já foram apresentadas ao longo do texto, referentes ao assunto do qual se tratava no momento. Da mesma forma, optou-se por conclusões parciais ao final de cada capítulo da tese, que variam na sua forma e por certo que também em sua qualidade. Neste capítulo se traçam, de uma forma bastante suscinta, as conclusões gerais do trabalho.

Parece ser clara a tendência dos Estados Unidos em optar por uma maior utilização de biomassa em sua matriz energética. Quer seja para substituir o carvão e o gás natural na geração de energia elétrica, quer seja para outras aplicações, dentre as quais a produção de biocombustíveis. Por motivos de estratégia global de combustíveis, por uma questão de geração de empregos no país e em função de sérias pressões de ordem ambiental, os EUA parecem determinados a adotarem biocombustíveis em uma escala mais larga de utilização e, dentre estes, o etanol e o ETBE, seu derivado, deverão ocupar um maior nicho no mercado de combustíveis líquidos naquele país. Pelos motivos expostos anteriormente, ficou claro que, no longo prazo, esta produção poderá preferencialmente se dar a partir da biomassa e não do milho.

Na Europa a produção e a utilização de etanol já vem ocorrendo, embora em escala menor do que nos Estados Unidos. Ao contrário dos EUA, o uso de biodiesel na Europa já é, em pequena escala, uma realidade. Além das fontes tradicionais que servem para a produção de etanol, existe uma especulação a respeito do uso de sorgo sacarino para gerar não somente etanol, mas, também, eletricidade. O cenário ainda é incerto a este respeito na Europa. A única certeza é a de que a utilização de biocombustíveis já existe, embora em uma escala menor que no Brasil ou nos EUA.

Embora pequenos em termos globais, os programas para a produção de etanol em Zimbábue e em Malavi são importantes para o bom andamento da economia destes países. Lá, estes programas representam não apenas uma contribuição à industrialização, mas um maior

grau de independência em relação à suprlmentos incertos de combustíveis líquidos fundamentais para o bom andamento da sociedade, na sua forma atual de organização. A instalação do programa de álcool carburante no Quênia, infelizmente, deixou muito a desejar. Os motivos para isto foram tratados superficialmente e fogem ao escopo deste texto, embora é necessário que se diga que são bastante graves.

A produção de etanol para fins carburantes na América Latina é muito menor do que se poderia esperar ao se considerar o tradicional papel de exportador de açúcar que esta região representa. A falta de capital com aval estatal, garantindo uma instalação segura e suportando os preços do etanol por muitos anos, como ocorreu no Brasil, foi, talvez, a principal razão para que não houvesse uma maior expansão de programas do tipo do PROÁLCOOL na América Latina.

No que se refere às assim chamadas novas tecnologias para a produção e utilização de etanol é importante que se diga que elas são realmente novas, mas os conceitos nos quais elas se baseiam têm muito pouco de novos. Se trata, de uma forma geral, de tecnologias que já existem há muitas décadas, aperfeiçoadas por novas tecnologias como a engenharia genética, o uso massivo da informática, etc.

No que se refere ao Brasil, o que mais salta aos olhos é a concentração cada vez maior da produção de álcool carburante. O setor sucro-alcooleiro está em um processo de autofagia, onde cada vez menos usinas são capazes de elevar a sua produção de açúcar e de álcool. As usinas vinculadas à Copersucar se destacam por sua participação no setor.

A questão ambiental, por outro lado, vem se tornando cada vez mais importante, e no que diz respeito ao escopo deste trabalho, destaca-se a emissão de poluentes, como por exemplo em grandes cidades como o Rio de Janeiro e em São Paulo. A introdução de veículos a múltiplos combustíveis tem um futuro incerto em um mercado de combustíveis que inicia um ligeiro processo de desregulamentação. Mas a utilização de ônibus movidos a etanol nas zonas críticas, sob a ótica ambiental, do Rio de Janeiro e São Paulo, é uma necessidade que deve ser atendida.

Por fim, a produção de etanol a partir de biomassa apresenta-se como uma tecnologia de futuro incerto, segundo as fontes às quais se teve acesso. Tanto sob o ponto de vista tecnológico quanto sob o ponto de vista econômico, mesmo ao se considerar a produção de bagaço excedente a um baixo custo em muitas usinas.

O autor da tese não tem a intenção de abandonar as suas publicações sobre a produção e a utilização de etanol, ao menos no curto prazo. Mas tem a intenção de se dedicar a novos projetos de pesquisa nos médio e longo prazos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

* AHMED, H., RASK, N. & BALDWIN, D.; **Ethanol Fuel as an Octane Enhancer in the US Fuel Market**; Revista Biomass; número 19; pags 215-232

ALLION, M.G.; **Developing Cleaner Fuels: European Commission Planning**; Anais da European Conference on New Fuels and Vehicles for Clean Air; Amsterdam; Junho; 1993.

ALMANAQUE ABRIL; **Enciclopédia em um só Volume**; Editora Abril; São Paulo; 1994.

ALVAREZ, F., **Institutional and Legal Aspects for Ethanol Development in Guatemala**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 1050 a 1057; Firenze, Italia, 1991.

ANDERSON, N.E., HAMALIUK, G.P. & HALLBERG, D.E.; **The Production of Methanol, Ethanol and Their Butyl Ethers Using the MOP Process - Integration Opportunities with Operating Facilities**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol.1; Pags 215 a 226; Colorado Springs; Novembro; 1993.

ASPELIN, H., PETTERSSON, K. & PIHL, M.; **Ethanol From Domestic Refuse**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags. 753 a 757; Colorado Springs; Novembro; 1993.

ASPELIN, H., PIHL, M. & REGESTAD, S.O.; **Hydrolyzation of Waste Paper Using Supersaturated Hydrochloric Acid**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags. 711 a 715; Colorado Springs; Novembro; 1993.

ATKINSON, D., HIRSHFELD, D. & SOBOTKA, J.K.; **Effects on the U.S. Refining Industry of the Fuel Provisions of the Clean Air Act Amendments**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels, Pags 285 a 289, Firenze, Italia, 1991.

BANDINI, S. & GOSTOLI, C.; **Extractive Fermentation: In Situ Membrane Extraction of Ethanol by Glycols**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 209 a 214; Firenze; Italia; 1991.

BASTIANONI, S., DONATI, A. & ULGIATI, S.; **Avoiding Greenhouse Effect Increase Analysis of Fossil and Biomass Fuels Looking to Biosphere Stability**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Colorado Springs; Novembro; 1993.

BECHTOLD, R.L., TIMBARIO, T.J. & MILLER, M.T.; **Performance and Exhaust Emissions of a DDC 8V-71 Transit Bus Engine Using Ignition-Improved Methanol and Ethanol**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 739 a 744; Firenze; Italia; 1991.

BEN; **Balço Energético Nacional**; Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético; Secretaria de Energia; Ministério das Minas e Energia; Brasília; 1994.

BERG, R.; **Demonstration Program for Heavy-Duty Vehicles Equipped with Ethanol Powered Diesel Engines**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 134 a 141; Colorado Springs; Novembro; 1993.

* BÖHM, G.M.; **O Álcool Combustível e a Saúde da População**; Associação das Indústrias do Açúcar e do Álcool do Estado de São Paulo; São Paulo; Agosto; 1991.

BOMBIG, J.A. & CHARANEK, S.; **Piracicaba Proíbe Gasolina que Polui Mais**; Jornal Folha de São Paulo; Caderno Folha Sudeste; Pag. 1; São Paulo; 24 de Abril; 1996.

BORGES, J.M.M. & ARBEX, J.G.; **Cana-de-Açúcar e Energia**; Artigo; Revista Brasileira de Energia; Vol. 3; Num. 2; Publicação da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético; 1994.

BRANCO, G.M. & SZWARC, A.; **Flexible Fuel or Flexible Fuel Vehicle?**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 1; Pags 116 a 120; Colorado Springs; Novembro; 1993.

BUCKSCH, S.; **The Swedish Demonstration Program for Alcohol-Based Motor Fuels**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags 822 a 826; Colorado Springs; Novembro; 1993.

BURKART, L.; **Lignocellulosic Residue as a Source of Liquid Fuels and Organic Chemicals**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags 784 a 786; Colorado Springs; Novembro; 1993.

CABRAL, E.H.S.; **Assistência Social na Agroindústria do Açúcar e do Alcool**; Dissertação de Mestrado; Pontificia Universidade Católica de São Paulo; São Paulo; 1990.

CABRERA, V.; **Replan Reduz Proporção de MTBE na Gasolina**; Artigo; Jornal Folha de São Paulo; Caderno Folha Sudeste; Pag. 1; São Paulo; 4 de Maio; 1996.

CAMPODÓNICO, M.; **Peru: Possibilidades de Un Programa de Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

CASTRO, M.; **Usinas já Estão Auto-Suficientes em Energia**; Artigo; Jornal Correio Popular; Caderno Economia/Executivo; Pag. 8; Campinas; 14 de Julho; 1996.

* CHEM SYSTEMS; **Technical and Economic Evaluation: Wood to Ethanol Process**; Relatório Final para o Solar Energy Research Institute (NREL); Golden; CO; 1990.

CIMA, F. & SPOSINI, M.; **ETBE: ECOFUEL's Experience**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 275 a 280; Colorado Springs; Novembro; 1993.

a) CODISTIL; **O Estado da Arte na Indústria de Base**; Caderno Descrevendo as Atividades em que a Empresa Atua; 19 Páginas; Codistil&Dedini; Piracicaba; 1988.

b) CODISTIL; **Relação de Destilarias Codistil Vendidas**; Caderno Mostrando Todas as Destilarias Vendidas pela Empresa até o Ano de 1988; 16 Páginas; Codistil&Dedini; Piracicaba; 1988.

COLLEY, R. et alii; **The Environmental Effects of Large-Scale Bioethanol Production in Europe**; Leaflet do projeto Environmental Resources Limited/European Fuel Oxygenates Association; Londres/Bruxelas; Presumivelmente 1992.

COPERSUCAR; **Seminário sobre Bagaço de Cana**; Relatório; Centro de Tecnologia COPERSUCAR e Assessoria da Diretoria; Piracicaba; 7 de Fevereiro; 1983.

COPERSUCAR; **PROÁLCOOL, Fundamentos e Perspectivas**; Livro; Centro de Tecnologia da Copersucar; Piracicaba; Setembro; 1989.

a) CORREIO POPULAR; **Cetesb Autoriza Replan a Testar Unidade**; Jornal; Caderno Cidades; Pag. 4; Campinas; 25 de Abril; 1996.

b) CORREIO POPULAR; **Órgão dos EUA Diz que Produto é Cancerígeno**; Jornal; Caderno Cidades; Pag 3; Campinas; 27 de abril; 1996.

c) CORREIO POPULAR; **Petrobrás Suspende Mistura de MTBE**; Jornal; Caderno Economia; Pag. 3; Campinas; 18 de Maio; 1996.

d) CORREIO POPULAR; **Volkswagen Aposta no Santana a Gás**; Jornal; Caderno Motor; Pag. 3; Campinas; 1º de Agosto; 1996.

e) CORREIO POPULAR; **Superpopulação Gera Problema no Trânsito**; Jornal; Caderno Motor; Pag. 10; Campinas; 23 de Maio; 1996.

CORTEZ, L.A.B., GUERRA, S.M.G. & LAMPARELLI, R.A.; **An Overall Evaluation of the Alcohol Programme in Brazil After 15 Years of Existence**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 1027 a 1033; Firenze; Italia; 1991.

CORTEZ, L.A.B., MAGALHÃES, P. & HAPP, J.; **Principais Subprodutos da Agroindústria Canavieira e sua Valorização**; Artigo; Revista Brasileira de Energia; Vol. 2; Num. 2; Sociedade Brasileira de Planejamento de Energético/Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP; 1992.

CRIPPS, S. et alii; **Practical Experiences in the Indian Ethanol Industry**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 1046 a 1049; Firenze; Italia; 1991.

DAUGULIS, A.J.; **Technical and Economic Basis for the Commercialization of Extractive Fermentation**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 215 a 218; Firenze; Italia; 1991.

DAVIS, B.C. & SNELLER, T.C.; **An Evaluation of Ethanol/Ether Blends in Gasoline**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Colorado Springs; Novembro; 1993.

D'AVIGNON, A.L.A.; **Avaliação das Emissões de Escapamento de Veículos Convertidos à Gás Natural**; Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia; Vol. 2; Pags. 707 a 713; Rio de Janeiro; 1993.

DECKER, G. et alii; **Field Experience and Progress of Volkswagen's Multi Fuel Vehicles**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 1; Pags 41 a 52; Colorado Springs; Novembro; 1993.

DOE; **Biofuels Program Plan: FY 1992-FY 1996**; Plano de Trabalho; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Janeiro; 1993.

DOELLE, M.V. & WILKINSON, R.R.; **Bacteria for Power Alcohol, Yeast for Bread and Beer**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 77 a 88; Colorado Springs; Novembro; 1993.

DORIA, O.; **Paraguay: Programa Nacional de Alcoholes Carburantes**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

EL-HAGE, M. et alii; **Bolivia: Possibilidades de Implementación de Un Programa de Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

FERREIRA, A.B.H. & LUZ, J.B.; **Pequeno Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**; Livro; Editora Civilização Brasileira S.A.; Rio de Janeiro; 1983.

FERRELL, J.E., WRIGHT, L.L. & CUSHMAN, J.H.; **U.S. Department of Energy's Biomass Production Program**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 2; Pags. 741 a 747; Colorado Springs; Novembro; 1993.

FISCHER, A.L.; **Impactos Sociais do PROÁLCOOL: um Estudo Sobre as Relações, o Processo e as Condições de Trabalho na Agroindústria Canavieira Paulista**; Dissertação de Mestrado; Pontificia Universidade Católica de São Paulo; São Paulo; 1995.

a) FOLHA DE SÃO PAULO; **Gasolina é mais Poluente que Álcool**; Jornal; Caderno Cotidiano; Pag. 3; São Paulo; 30 de Março; 1996.

b) FOLHA DE SÃO PAULO; **Poluição Inflama Pulmões da Grande São Paulo**; Jornal; Caderno Cotidiano, Pag. 4; São Paulo; 9 de Julho; 1996.

c) FOLHA DE SÃO PAULO; **Leis Asseguram Proibição**; Jornal; Caderno Folha Sudeste; Pag. 2; São Paulo; 25 de abril; 1996.

- d) FOLHA DE SÃO PAULO; **Distribuidoras Tiram MTBE de Combustível**; Jornal; Caderno Folha Sudeste; Pag. 3; São Paulo; 14 de Maio; 1996.
- e) FOLHA DE SÃO PAULO; **Assentamento de Sumaré Gera Novas Invasões**; Jornal; Caderno Folha Sudeste; Pag. 1; São Paulo; 19 de Maio; 1996.
- f) FOLHA DE SÃO PAULO; **Canavieiros Marcham por Emprego**; Jornal; Caderno Brasil; Pag. 9; São Paulo; 3 de Julho; 1996.

GANDHI, K.K. et alii; **Demonstration Trials on Dual-Fuel Operated Buses on Alcohol**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 1; Pags 401 a 406; Colorado Springs; Novembro; 1993.

GARBAK, J. & GELMAN, D.J.; **Summary of Light Duty Vehicle FFVs Operating on Alcohol Fuels in the United States Federal Fleet**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 1; Pags 28 a 40; Colorado Springs; Novembro; 1993.

GAYEN, A.K.; **Operation of Diesel Buses with Alcohols**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 1; Pags 368 a 378; Colorado Springs; Novembro; 1993.

GAZETA MERCANTIL; **EUA Aprovam Programa de Aumento da Adição de Álcool de Milho à Gasolina**; Jornal; Num. 20367; Pg. 14; Sexta-Feira; 1 de Julho; 1994.

GAZETA MERCANTIL; **EPA Exige que 30% dos Aditivos da Gasolina Venham de Fontes Renováveis**; Jornal; Num. 20368; Pg. 17; Segunda-Feira; 4 de julho; 1994.

GAZETA MERCANTIL; **Exportar Açúcar, Importar Álcool**; Jornal; Num. 20392; Pg. 1; Sexta-Feira; 5 de agosto; 1994.

GOGUEN, S.F. & MCCALLUM, P.W.; **The U.S. Alternative Fuel Truck Commercial Application Program**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Pags 441 a 450; Colorado Springs; Novembro; 1993.

GOLDSTEIN JR., L.; **Fornecimento de Calor a Sistemas Industriais, Combustão e Combustíveis**; Apostila de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica; Universidade Estadual de Campinas; Campinas; 1985.

GÓMEZ, C.A.; **República Dominicana: Lineamentos para Un Programa de Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

GONÇALVEZ, M.A.; **Crise do Campo Atormenta Brasil Urbano**; Artigo; Jornal Folha de São Paulo; Caderno 1; Pag 9; São Paulo; 19 de Maio; 1996.

GOUVEIA, R.; **A Fumaça da Inércia**; Artigo; Folha de São Paulo; Caderno 1; Pag. 3; São Paulo; 7 de Agosto; 1996.

GRASSI, G.; **Biomass for Energy, Industry, Rural Development and Environment**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 21 a 28; Firenze; Italia; 1991.

GRASSI, G; MONCADA, P. & ZIBETTA, H.; **Promising Industrial Energy Crop, Sweet Sorghum - Recent Developments in Europe**; Livro; Commission of the European Communities; Bruxelas; 1992.

GREVEN, R.G. & YU, E.K.C.; **Cost Effective Fuel Ethanol from Waste Paper**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags. 758 a 762; Colorado Springs; Novembro; 1993.

HALL, D.O. et alii; **Biomass for Energy: Supply Prospects**; Capítulo; in "Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity"; Livro; Pags 593 a 651; Island Press; Washington, D.C.; 1993.

HALL, D.O. & ROSILLO-CALLE, F.; **Why Biomass Matters: Energy and the Environment**; Artigo; Jornal Network News; Vol. 5; Num. 4; Pags 4 a 15; Editado por Biomass Users Network; Londres; 1991.

HEMSY, J.V. & SCANDALIARIS, G.C.; **Argentina: El Programa de Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

* HARRIS, J.F.; **Process Alternatives for Furfural Production**; Anais da TAPPI Forest Biology Wood Chemistry Conference; 1977.

HÉRY, B.; **Introducing Clean Gasoline in Europe**; Anais da The European Conference on New Fuels and Vehicles for Clean Air; Amsterdam; Junho; 1993.

* HINMAN, N. et alii; **Preliminary Estimate of the Cost of Ethanol Production for SSF Technology**; Applied Biochemistry and Biotechnology; 34-35:639; 1991.

HOHMANN, C. & RENDLEMAN, C.M.; **Emerging Technologies in Ethanol Production**; Boletim de Informações Agrícolas nº 663; Editado pelo "Economic Research Service" do "United States Department of Agriculture"; 15 páginas; Nova York; 1993

HORNBY, A.S.; **Advanced Learner's Dictionary**; Livro; Editado e Publicado pela Oxford University Press; Great Britain; 1994.

HORNBY, A.S., PARNWELL E.C. & MATOS, F.G.; **Yáziği Dictionary**; Livro; Editado e Publicado pela Oxford University Press; Great Britain; 198-.

INTERNATIONAL CANE ENERGY NEWS; **Global Summary of Power Exporting Sugarmills**; Editorial; Editado por Dan Jantzen, Koshy Cherail e John Kadyszewski; Jornal da International Cane Energy Network; Publicado em Arlington-VA; Agosto; 1995.

INTERNATIONAL GAS REPORT; **Strong French Bio Lobby Hits MTBE**; Electronic Mail; Financial Times Business Information Ltd.; 6 de Agosto; 1993.

JORNAL NACIONAL; **Governador Americano Visita a Maior Usina Produtora de Álcool no Brasil**; Matéria Televisionada; Jornal Nacional; Rede Globo de Televisão; 18 de Setembro de 1995.

JUMA, C.; **Investment Strategy and Technology Policy: Lessons from Power Alcohol Development in Kenya**; Livro; 50 pgs; Editado e Publicado pelo SPRU; Sussex University; England; e pelo African NGOs Environment Network; Nairobi; Kenya. Apresentado na National Conference on Kenya's Industrial Development Strategy; Nyeri; Kenya; Agosto de 1986.

LAPLACE, J.M. et alii; **Simultaneous Alcoholic Fermentation of D-Xylose: Oxygen Requirements and Ethanol Tolerance as Key Factors**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 209 a 214; Firenze; Italia; 1991.

LE BOUAR, M. & MISSAGLIA, G.E.; **Ethanol Dehydration with Pervaporation Technology**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 231 a 234; Firenze; Italia; 1991.

LEROUDIER, J.P.; **BIOFUELS. The Situation in France in 1993**; Report; Association pour le Développement des Carburants Alcooliques ; ADECA; Paris; Junho; 1993.

LEWIS, G.; **Some Aspects of Production of Ethanol from Sugarcane Residues in Zimbabwe**; Artigo, Revista Solar Energy, No. 33, pgs. 379 a382, 1984.

LYND, L.R. et alii; **Fuel Ethanol from Cellulosic Biomass**; Artigo; Revista Science; Vol. 251; Pags. 1318 a 1323; American Association for the Advancement of Science; 15 de Março; 1991.

MADSON, P.W. & MURTAGH, J.E.; **Fuel Ethanol in USA: Review of Reasons for 75% Failure Rate of Plants Built**; Artigo, publicado nos anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels, pags 119-124, Firenze, Italia, 1991.

MAGALHÃES, J.P.A., KUPERMAN, N. & MACHADO, R.C.; **PROÁLCOOL: Uma Avaliação Global**; Livro; Assesores Técnicos Ltda.- ASTEL; Rio de Janeiro; 1991.

MANOEL, A.; **Política Agrícola, Eficiência e Concentração na Agricultura Brasileira: Um Estudo do Setor Canavieiro Paulista**; Livro; Série de Ensaios Econômicos; Num. 54; Instituto de Pesquisas Econômicas; São Paulo; 1986.

MAREK, N.J., BROWN, M.L. & WEINZIERI, R.M.; **The Peoria Ethanol Bus Fleet Demonstration Project**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Pags 407 a 413; Colorado Springs; Novembro; 1993.

a) MAREK, N.J., STAMPER, K.R. & MILLER, S.; **The Ethanol Heavy Duty Truck Fleet Demonstration Program**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Pags 451 a 458; Colorado Springs; Novembro; 1993.

b) MAREK, N.J., STAMPER, K.R. & MILLER, S.; **The Ethanol Heavy Duty Truck Fleet Demonstration Program**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 123 a 133; Colorado Springs; Novembro; 1993.

MARTINS, J.P.; **Programa Controla Venda e Uso de Agrotóxicos**; Artigo; Jornal Correio Popular; Caderno Cidades; Pag. 6; Campinas; 23 de Junho; 1996.

MAURO, G.; **O Sem-Terra e o Direito à Ocupação**; Artigo; Jornal Correio Popular; Caderno Especial; Pag 2; Campinas; 26 de Novembro; 1995.

MEDEIROS, J.X.; **Suprimento Energético de Carvão Vegetal no Brasil: Aspectos Técnicos, Econômicos e Ambientais**; Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia; Vol. 1; Pags. 107 a 112; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro; 1993.

MICHAELIS, L.; **Biofuel Policy in the OECD**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Colorado Springs; Novembro; 1993.

MILLER, S.P.; **DDC Alcohol Engine Development and Field Experience**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 779 a 785; Firenze, Italia, 1991.

MIOCQUE, J.Y.; **O Melhoramento da Cana-de-Açúcar no Brasil**; Artigo; Revista STAB; Vol. 11; Num. 4; Pags. 24 a 28; Editada pela Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil; Piracicaba; Março/Abril; 1993.

* MONCRIEFF, I.D. & WALKER, F.G.B.; **Retrofit Adaptation of Vehicles to Ethanol Fuelling: A Practical Implementation Programme**; Anais do VIII International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 399 a 404; Tokyo; NEITDO; 1988.

NOGUEIRA, S.L.C. & NASTARI, P.M.; **Recent Development of and Current Risks for Brazil's National Alcohol Program**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Firenze; Italia; 1991.

a) NREL; **The American Farm: Harnessing the Sun to Fuel the World**; Relatório; 21 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; Março; 1994.

b) NREL; **Future Goals in Biofuels Development**; Biofuels Update; Vol. 2; Num. 1; 2 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; 1994.

c) NREL; **Biofuels Facts: Ethanol from Biomass**; Relatório; 2 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; Março; 1994.

d) NREL; **Biofuels for Transportation: The Road from Research to the Marketplace**; Relatório; 5 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; Março; 1994

e) NREL; **NREL Putting It All Together for Biofuels**; Relatório; 4 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; Março; 1994

f) NREL; **Biofuels Facts: Alternative Fuels Users Facility**; Relatório; 2 pags; National Renewable Energy Laboratory-NREL; U.S. Department of Energy; Estados Unidos; Março; 1994.

OLALDE, R.A.; **Capacitação Tecnológica na Agroindústria Canvieira: O Caso da Copersucar**; Dissertação de Mestrado; Instituto de Geociências; Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP; Campinas; Outubro; 1992.

OXY-FUEL NEWS; Boletim Técnico Semanal; Vol. 6; Núm. 37; Publicado pela Information Resources, Inc.; Whashington, DC; Dezembro; 1992.

PARK, S.C. & BARATTI, J.; **Ethanol Production from Molasses Using an Osmotolerant Mutant of Zymomonas Mobilis**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 166 a 170; Firenze; Italia; 1991.

PARRY, R.E., MILLER, S.M. & WALKER, L.W.; **Detroit Diesel Corporation Alcohol Engines and Field Experience**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Pags 420 a 429; Colorado Springs; Novembro; 1993.

POSADA, C.M.; **El Salvador: Possibilidades de Un Programa de Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

QUEZADA, A.G.; **Costa Rica: Elementos Sobre la Experiencia con Alcohol Carburante**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

REYNAR, R. & ARMUELLES, R.; **Experiencias en La Utilización de Alcohol como Combustible**; Artigo; in "Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante"; Livro; GEPLACEA (México)/ IICA (Costa Rica) & OLADE (Peru); 1984.

ROSENSCHEIN, A.D. & HALL, D.O.; **Energy Analysis of Ethanol Production from Sugarcane in Zimbabwe**; Artigo; Editado e Publicado na Revista Biomass and Bioenergy, Vol.1, No. 4, pgs. 241 a 246, Inglaterra, 1991.

ROSILOO-CALLE et alii; **Bioethanol Production: Economic and Social Consideration in Failures and Successes**; Artigo; Publicado no Livro Biotechnology: Economic e Social Aspects; Editado por DA SILVA, E.J., RATLEDGE, C. & SASSON, A.; Publicado em associação com a UNESCO pela Editora Cambridge University Press, pags. 21 a 54, Inglaterra, 1992.

ROSILLO-CALLE, F., FURTADO, P. & HALL, D.O.; **Brazil Charcoal: A Case for Sustainable Production and Use as a Thermal Reduction Agent in Iron-Making**; Artigo; VII EC Conference: Biomass for Energy, Industry and Environmental; Pont Press; Pags. 779 a 785; Bochum; 1994.

RYDEN, C.; **Extensive Tests on Ethanol-Operated Buses Fitted with Diesel Engines**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 792 a 796; Firenze; Italia; 1991.

RILEY, C.J. & TYSON, K.S.; **Total Fuel Cycle Emissions Analysis of Biomass-Ethanol Transportation Fuel**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 235 a 243; Colorado Springs; Novembro; 1993.

SAHM, H., BRINGER-MEYER, S. & SPRENGER, G.A.; **Ethanol Production by Bacteria**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 181 a 189; Firenze; Italia; 1991.

SANSOVINI, F., FRILLI, C.I. & GIMIGNANO, S.; **Fuel Alcohol Dehydration by Molecular Sieves**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 235 a 239; Firenze; Italia; 1991.

SCHELLER, W.A. & VILJOEN, H.J.; **The Role of Byproduct Formation in the Chemical Equilibrium of the ETBE Reaction**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 1; Colorado Springs; Novembro; 1993.

SCURLOCK, J., ROSENSCHEIN, A.D. & HALL, D.O.; **Fuelling the Future. Power Alcohol in Zimbabwe**; Livro; 50 páginas; Editado pela Acts Press do African Centre for Technology Studies; Nairobi; Kenya e pelo Biomass Users Network (BUN); Harare; Zimbabwe. Impresso pela English Press Limited; Nairobi, Kenya, 1991.

SERAGELDIN, I.; **Transporte Urbano e Meio Ambiente: Procura de Uma Política Global**; Artigo; Revista dos Transportes Públicos; Ano 16; 3º Trimestre; Pags. 7 a 28; Editada pela Associação Nacional dos Transportes Públicos; São Paulo-S.P.; 1994.

a) SHAUCK, M.E. & ZANIN, M.G.; **Certification of an Aircraft Engine on Ethanol Fuel**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 654 a 659; Firenze; Italia; 1991.

b) SHAUCK, M.E. & ZANIN, M.G.; **The First Transatlantic Flight on Ethanol Fuel**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 660 a 664; Firenze; Italia; 1991.

SHAUCK, M.E. & ZANIN, M.G.; **Ethanol as an Aviation Fuel: An Overview of the Program at Baylor University**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol. 2; Pags 1056 a 1062; Colorado Springs; Novembro; 1993.

SHORT, G.D., BETTON, J.M. & ANTONIO, L.C.; **Global Experience with Ignition-Improved Alcohol Fuels in Heavy Duty Diesel Engines**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags 813 a 817; Firenze; Italia; 1991.

SIGAUD, L.; **Os Clandestinos e os Direitos. Estudo Sobre Trabalhadores da Cana-de-Açúcar de Pernambuco**; Livro; Editora Livraria Duas Cidades Ltda.; São Paulo; 1979.

ANDRADE, M.C.; **Modernização e Pobreza. A Expansão da Agroindústria Canavieira e seu Impacto Ecológico e Social**; Livro; Editora da UNESP; São Paulo; 1994.

SINGH, M. & MCNUTT, B.; **Energy and Crude Oil Input Requirements for the Production of Reformulated Gasolines**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Colorado Springs; Novembro; 1993.

SINICIO, M.F.; **Demanda e Conservação de Energéticos nas Usinas de Açúcar e Álcool Paulistas**; Dissertação de Mestrado; Faculdade de Engenharia Mecânica; Universidade Estadual de Campinas; Campinas; Fevereiro; 1992.

a) SINICIO, M.F. & BAJAY, S.V.; **Desenvolvimentos Recentes na Utilização dos Bio-Combustíveis, em Especial o Etanol e os seus Derivados, nos Países Europeus e suas Perspectivas Futuras**; Anais do II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético; UNICAMP; Campinas; 1994.

b) SINICIO, M.F. & BAJAY, S.V.; **Viabilidade da Produção de ETBE no Brasil, a Partir de Etanol, para Atender uma Provável Futura Demanda por Gasolina Premium**; Anais do II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético; UNICAMP; Campinas; 1994.

* STEINGASS, H. Et Alii; **Electricity and Ethanol Options in Southern Africa**; Report; Num 88-21; USAID; Office of Energy; Bureau for Science and Technology; 1988.

STUCKEY, D & JUMA, C.; **Power Alcohol in Kenya and Zimbabwe: A Case Study in the Transfer of a Renewable Energy Technology**; Relatório; 69 páginas; Editado pela Organização das Nações Unidas; pelo Secretariado da United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD, como Parte de um Programa Desenvolvido pela ONU sob Auspícios da UNCTAD, que se Chama "Energy Technology Issues in Developing Countries: Scope for Action at the National Level". Impresso pela UNCTAD, Genebra, Suíça, 1985.

SZWARC, A. et alii; **Alcohol Crisis in Brazil: The Search for Alternatives**; Anais do IX International Symposium on Alcohol Fuels; Pags. 885 a 890; Firenze; Italia; 1991.

TASCHNER, K.; **Who Needs Biofuels?**; European Environmental Bureau; Bruxelas; Junho; 1993.

THE CLEAN FUELS REPORT; **Ethanol and Biofuels-Economic Conditions Favorable for Biodiesel in France**; Vol. 5; Num. 4; Pg. 136; Setembro; 1993.

THE ECONOMIST; **Financial Indicators**; Pag 123; 18 de Junho; 1994.

THOMAS, S.; **Evaluation of Plant Biomass Research for Liquid Fuels**; Report of a Study Commissioned by Shell Research Ltd; Science Policy and Research Evaluation Group; University of Sussex; Brighton; 1992.

UNDERWOOD, R.P. & SCHAUB, E.S.; **Synthesis Gas Conversion to Isobutanol: A Key Step in a C₁ Route to MTBE**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Vol.1; Pags 227 a 233; Colorado Springs; Novembro; 1993.

WALTER, A.C.S.; **Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucro-Alcooleiro**; Tese de Doutorado; Faculdade de Engenharia Mecânica; Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP; Campinas; Novembro; 1994.

WARES, R. & KRENELKA, T.; **DOE Fleet Test Activities with Alcohol Fuel Buses**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Addendum; Pags 105 a 109; Colorado Springs; Novembro; 1993.

WORLD VIEW; **An Economic Geopolitical Year Book**; Livro; 500 paginas; Editado pelo Projeto Pluto/Maspero; Publicado pela Pluto Press Limited; Impresso pela St Edmundsbury Press Limited; Londres; Inglaterra; 1982.

* WRIGHT, J.D.; **Ethanol from Lignocellulose**; DOE/SERI Biochemical Conversion/Alcohol Fuels Program.

WRIGHT J.D. & FEINBERG, D.A.; **Comparison of the Production of Methanol and Ethanol from Biomass**; Anais do X International Symposium on Alcohol Fuels; Volume 2; Pags 797 a 808; Colorado Springs; Novembro; 1993.

* YU, E.K.C., CLARKE, M. & D'AGOSTINO, D.; **Waste Paper for Alcohol Production**; Relatório Final para a Secretaria de Energia da Província de Ontário; EnerSearch Project No. 600157; Canadá; 1992.

ZIONI, C.; **Açúcar e Álcool: Boa Qualidade, Preço Baixo**; Artigo; Revista Notícia; No. 123; Pags. 10 a 17; Periodicidade Semanal; Editada por FIESP/CIESP/SESI/SENAI/IRS; São Paulo; 11 de Setembro; 1995.

OBS: O asterístico indica trabalhos citados no texto da tese que não foram consultados diretamente, mas sim, obtidos através de terceiros.