

INSTITUTO DE FÍSICA

preprint

IFUSP/P 323
B.L.F. - USP

IFUSP/P-323

BALANÇO ENERGÉTICO DE PRODUÇÃO DE
COMBUSTÍVEIS DE ÓLEOS VEGETAIS

L.Walmsley, M.E.M.Helene, A.L.Müller e
J.Goldemberg

Instituto de Física - U.S.P.

B.L.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
Caixa Postal - 20.516
Cidade Universitária
São Paulo - BRASIL

BALANÇO ENERGÉTICO DE PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DE ÓLEOS VEGETAIS*

L. Walmsley, M.E.M. Helene, A. L. Müller e J. Goldemberg

Instituto de Física - Universidade de São Paulo

INTRODUÇÃO

Sendo o Diesel o derivado do petróleo de maior demanda, sua substituição ainda é um ponto fundamental para a diminuição das importações desse produto.

Um dos caminhos vislumbrados é a substituição do óleo diesel por derivados de óleos vegetais, como os ésteres metílicos e etílicos de óleos e o óleo vegetal "craqueado".

Este trabalho faz uma primeira tentativa de avaliação do balanço energético (energia disponível no óleo menos energia gasta para produzi-lo) da produção de óleos vegetais e seus derivados para fins combustíveis. São analisados os gastos de energia em todas as fases da produção, ou seja, na fase agrícola, no processo industrial e na obtenção do derivado.

É importante notar que o balanço tomou como base o óleo de soja e esta escolha se deve ao fato de que apesar da soja possuir baixo teor de óleo quando comparada a outras espécies oleaginosas, seu cultivo, extração e beneficiamento encontram-se plenamente desenvolvidos no Brasil, o que implica na existência de dados energéticos para cada fase da produção e, portanto, na possibilidade de realização deste balanço.

A CULTURA DA SOJA

Embora a soja tenha sido cultivada no Brasil desde os anos 30, é a partir do fim da década de 60 que seu cultivo toma grande importância na agricultura brasileira, aparecendo em 1971 entre os cinco principais produtos de exportação. De 1970 a 1976 a produção brasileira de soja multiplica-se por sete e neste ano a soja representa 18% do valor das exportações brasileiras. As

* Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

tabelas (I-a, b, c) apresentam a evolução do cultivo da soja nos principais estados produtores: R.G. do Sul, Paraná e São Paulo⁽¹⁾.

A soja tem uma composição média⁽²⁾ de 8% de umidade, 40% de proteína, 20% de óleo, 32% de carboidratos. Embora utilizada para uma grande variedade de produtos, inclusive o consumo "in natura" do grão, tem como principais produtos o farelo utilizado na produção de rações para alimentação animal (proteína + carboidratos) e o óleo^(1,3).

TABELA I-a

RIO GRANDE DO SUL: IMPORTÂNCIA DA SOJA NA AGRICULTURA DO ESTADO

ANOS	ÁREA CULTIVADA (ha)		
	LAVOURA (A)	SOJA (B)	B/A %
1952/54	2 497 412	60 748	2,4
1962/64	3 379 620	315 903	9,4
1967/69	4 363 759	565 671	13,0
1973/75	6 981 900	2700 285	39,0

TABELA I-b

PARANÁ: IMPORTÂNCIA DA SOJA NA AGRICULTURA DO ESTADO

ANOS	ÁREA CULTIVADA (ha)		
	LAVOURA (A)	SOJA (B)	B/A %
1960	3 197 041	5059	0,2
1968	4 545 771	119 853	2,6
1970	5 653 494	304 211	5,4
1972	5 917 437	452 692	7,6
1973	5 576 331	817 815	14,7
1974	7 060 689*	1340 000	19,0

* Somatório dos treze principais produtos cultivados no Estado.

TABELA I-c

SÃO PAULO: IMPORTÂNCIA DA SOJA NA AGRICULTURA DO ESTADO*

ANOS	ÁREA (ha)		
	LAVOURA (A)	SOJA (B)	B/A %
1952/63	5 101 505	4 487	0,09
1966	5 180 000	23 353	0,45
1968	5 184 600	47 649	0,92
1970	5 548 000	87 120	1,57
1972	5 197 200	200 000	3,85
1974	5 145 800	391 700	7,60
1976	5 074 900	452 000	8,91

* Abrange os 17 principais produtos cultivados no Estado

GASTOS ENERGÉTICOS

Uma das primeiras avaliações conhecidas de gastos energéticos na agricultura brasileira é devida a Silva e colaboradores⁽⁴⁾ que fizeram o balanço energético da produção de álcool etílico a partir de três culturas: cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino.

A avaliação da energia investida na cultura de soja no Brasil foi feita por Moreira e colaboradores^(5,6). Eles computaram os gastos energéticos nas culturas de cana, mandioca, milho, soja, trigo, eucalipto, tomate e batata no Estado de São Paulo, tendo sido os dados obtidos através de formulários utilizados e preenchidos por um técnico especializado, diretamente junto ao produtor agrícola, representando, os dados, uma média de vários anos.

A conversão dos dados para a obtenção dos coeficientes de energia foi extensivamente discutido por Moreira em seu trabalho, e gostaríamos de ressaltar apenas dois aspectos:

- a energia gasta computada é a energia total: direta (combustíveis) + indireta (energia embutida nos bens de produção).
- para os fertilizantes os coeficientes energéticos foram obtidos a partir dos dados americanos, considerando-se que os fertilizantes utilizados eram predominantemente importados. No entanto, no que se refere ao P_2O_5 , atualmente a produção nacional responde por uma faixa significativa do consumo⁽⁷⁾ e possuindo a rocha fosfática nacional mais baixo teor de P_2O_5 ⁽⁸⁾ o gasto energético para sua produção é provavelmente mais elevado.

Os dados se referem às regiões de: Paranapanema, Ourinhos, Assis, Palmital, Itai, Taquarituba, Jardinópolis, Igarapava, São Joaquim da Barra, Orlândia, Itapoava, Ribeirão Preto. Os resultados estão apresentados na tabela II. Vemos pela tabela II que há um gasto energético médio de 1882 Mcal/ha/ciclo. Com uma produtividade média de 2,1 t há um gasto energético de 1018 Mcal/t de soja seca. Apesar da soja ser considerada aproveitada (óleo + farelo) para fins de cômputo energético, só o óleo foi considerado*, de modo que para os 22% de óleo que constituem a soja seca e gasto energético é de 4627 Kcal/Kg de óleo.

PROCESSAMENTO

A energia gasta no processamento do óleo de soja foi calculada a partir dos dados fornecidos por indústrias processado

* Embora não faça sentido falar em farelo de soja como combustível, seu valor calorífico, não é, entretanto desprezível, devendo inclusive superar o valor calorífico do bagaço de cana (50% umidade, 5% sacarose) que é de 2260 Kcal/Kg.

TABELA II

CONSUMO DE ENERGIA EM Mcal/Ha/CICLO (MÉDIA DE 20 PROPRIEDADES AGRÍCOLAS)

Mão de obra	11
Tratadores	69
Implementos	13
Caminhão	2
<u>COMBUSTÍVEL</u>	
Tratores	927
Caminhão	33
Colhedeira	97
Subtotal.....	1.057
<u>FERTILIZANTES</u>	
N	84
P_2O_5	123
K_2O	31
Calcáreo	88
Subtotal.....	326
<u>DEFENSIVOS</u>	
Herbicida	170
Inseticida	161
Fungicida	4
Subtotal.....	335
Sementes	68
<u>TOTAL.....</u>	<u>1.882</u>
Produção (t/ha): 2,1	

ras (9,10,11). Procuramos separar os gastos energéticos dos processos de secagem, extração, neutralização dos demais gastos de refino, pois para a produção dos derivados, essas etapas não se fazem necessárias.

Além disso, é preciso avaliar a energia indireta embutida nos bens de produção (prédios, máquinas, equipamentos). Com base nas informações da referência 12 podemos estimar que esse gas-

to deve corresponder a cerca de 15% da energia consumida no processo.

Os gastos estão ilustrados nas tabelas III e IV.

DERIVADOS DE ÓLEOS VEGETAIS

Ésteres Metílicos

Na tentativa de obtenção de um derivado dos óleos vegetais cujas propriedades físico-químicas mais se assemelhassem às do óleo diesel, uma das opções experimentais foi a dos ésteres metílicos de óleos vegetais^(14,15) obtidos através de uma reação de transesterificação com metanol. Como não há ainda produção industrial desses ésteres, tentaremos uma avaliação dos gastos energéticos utilizando dados obtidos em laboratórios e analisando os processos necessários à sua obtenção.

A transesterificação com Metanol é encontrada na literatura^(16,17,18) e sabe-se que quando nessa reação são utilizados catalisadores alcalinos, a temperatura de reação é consideravelmente mais baixa do que quando catalisadores ácidos são empregados.

DESCRIÇÃO DA REAÇÃO⁽¹⁹⁾

A reação é realizada a pressão atmosférica num reator de aço inox, munido de agitador, sistema de aquecimento e resfriamento e coluna para refluxo. A temperatura de reação é cerca de 70°C e utilizou-se KOH (0.5%) como catalisador. Depois de duas horas obtem-se éster metílico (98%), sabão, glicerina, metanol e traços de catalisador. Em seguida, a temperatura é elevada a 95°C para que o Metanol em excesso seja destilado.

Dois caminhos alternativos serão analisados em termos

TABELA III - CONSUMO DE ENERGIA NO PROCESSAMENTO DO ÓLEO DE SOJA (SECAGEM, EXTRAÇÃO, DEGOMAGEM, NEUTRALIZAÇÃO) kcal/kg DE ÓLEO.

INDÚSTRIA	CAPACIDADE	COMBUSTÍVEL UTILIZADO	ENERGIA GASTA	ENERGIA INDIRETA	ENERGIA TOTAL
CARGILL	1.800	Óleo comb. BPF	1492	224	1716
OLMA	1.300	lenha, bagaço de cana, casca de amendoim	1843	276	2119
OLVEBRA	740*	carvão, óleo comb. BPF	1824	274	2098

* Neutralização: 500 t/dia

TABELA IV - CONSUMO DE ENERGIA NO PROCESSAMENTO DO ÓLEO DE SOJA (BRANQUEAMENTO, DESODORIZAÇÃO) kcal/kg DE ÓLEO

INDÚSTRIA	ENERGIA GASTA	ENERGIA INDIRETA	ENERGIA TOTAL
CARGILL	2158	324	2482
OLMA	836** 327***	174	1337
OLVEBRA	361*	54	412

* Apenas desodorização
 ** Desodorização
 *** Branqueamento

de gastos de energia, para a separação do éster.

1. Decantação: normalmente devido à diferença de densidade, a glicerina e os subprodutos tendem a decantar ao separar a agitação. A separação dos mesmos é feita pela parte inferior do reator, mas é necessário ainda uma purificação do éster para retirar os traços de glicerina e subprodutos o que é feito por meio de lavagem. Em seguida deve haver uma secagem do éster.

Para calcular a energia necessária para a reação de transesterificação de 1 kg de óleo de soja, seguida da recuperação do Metanol em excesso, temos:

a) Calor para esquentar 1 kg de óleo de soja ($M_{\text{Óleo}}$) + 278g de Metanol* (M_{MeOH}) de 20° a 95°C:

$$(C_{\text{Óleo}} \times M_{\text{Óleo}} + C_{\text{MeOH}} \times M_{\text{MeOH}}) \times \Delta T = 42,5 \text{ kcal}^{**}$$

sendo:

$C_{\text{Óleo}}$: calor específico do óleo de soja com uma valor aproximado de 0,4 cal/g-°C de acordo com a referência 20.

C_{MeOH} : calor específico do Metanol igual a 0,6 cal/g-°C segundo a referência 21.

b) Calor de vaporização do excesso de Metanol mais re fluxo:

$$(m_{\text{MeOH}} + m_R) \times Q_{v, \text{MeOH}}$$

* Estequiometricamente são necessários apenas 107g de Metanol para reagir com 1 kg de óleo de soja (peso molecular aproximado de 896g) sendo o excesso necessário à completeza da reação.

** Na verdade à medida que a reação se processa estamos esquentando os reagentes e mais os produtos (éster metílico e glicerina). Podemos, no entanto, calcular o calor necessário para esquentar, éster, glicerina e mais o excesso de Metanol e obter o limite superior de 50 kcal.

m_{MeOH} : 170g de excesso de Metanol l para 1 kg de óleo de soja.

m_R : $n \times m_{\text{MeOH}}$, onde n é a taxa de refluxo.

$Q_{v, \text{MeOH}}$: calor de vaporização do Metanol igual a 280,6 cal/g segundo do referência (21).

A taxa de refluxo pode ser estimada a partir da expressão (22,23):

$$n = \frac{T_E + T_{\text{MeOH}}}{K(T_E + T_{\text{MeOH}})}$$

onde T_E : temperatura de ebulição do éster metílico de soja igual a 350°C segundo referência 26.

T_{MeOH} : temperatura de ebulição do Metanol igual a 65,5 segundo referência 21.

K : constante igual a 3 para o refluxo ótimo.

Obtemos então $n = 0,5$ e a energia gasta na vaporização:

$$(170 + 85) \text{ g} \times 280,6 \text{ cal/g} = 71,5 \text{ kcal}$$

c) Agitação: Para avaliar quanta energia é gasta em agitar a solução, fizemos um cálculo da potência requerida por um agitador tipo pá por volume de líquido (Hp/5000L), que pode ser avaliada, conhecida a viscosidade da mistura, utilizando-se a referência 24.

Para uma mistura de óleo de soja e metanol* o gasto de energia em duas horas de agitação é de cerca de 1,6 kcal/kg de óleo de soja.

* Na realidade, à medida que a reação se processa, estamos agitando menos os reagentes (óleo + metanol) e mais o produto (éster metílico glicerina mais excesso de metanol). No entanto, devido à viscosidade do éster metílico de soja ser muito menor que do óleo de soja⁽²⁶⁾ pode-se considerar o número obtido como um limite superior.

d) Produção de Metanol: Para cada mol de óleo de soja, 3 moles de éster são produzidos e 1 kg de óleo de soja utiliza 107g de Metanol. Precisamos, portanto conhecer a energia gasta na produção do metanol.

TABELA V

GASTOS DE ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE METANOL, POR DOIS PROCESSOS DIFERENTES (27)

MATÉRIA PRIMA	ENERGIA ($\frac{\text{kcal}}{\text{kg de MeOH}}$)	ENERGIA ($\frac{\text{kcal}}{\text{kg de óleo de soja}}$)
Gás Natural	1990	213
Óleo pesado	430	46

TABELA VI

GASTOS DE ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE METANOL A PARTIR DE BIOMASSA

MATÉRIA PRIMA	ENERGIA ($\frac{\text{kcal}}{\text{kg de MeOH}}$)	ENERGIA ($\frac{\text{kcal}}{\text{kg de óleo de soja}}$)
Eucalyptus	137	15
Pinus	118	13

Não foi possível calcular o gasto energético da fabricação do Metanol a partir de carvão ou linhita.

Uma avaliação da energia que seria gasta para a produção de Metanol a partir de biomassa (eucalyptus, pinus) é feita por Moreira e colaboradores (13).

Os números estimados para o gasto energético na produção de Metanol, encontram-se na Tabela VI.

No entanto, o fato de não haver produção de Metanol a partir de biomassa no Brasil, não nos permite a utilização de tais números nos nossos cálculos.

e) Analisaremos agora a energia gasta nos dois processos alternativos de separação do éster

1 - Decantação - na remoção da glicerina e subprodutos pela parte inferior do reator pode-se considerar que não há gasto energético. No entanto, a lavagem do éster para a retirada dos traços de glicerina e subprodutos, introduz umidade no éster (0,5%) e vamos fazer uma avaliação da energia gasta na sua secagem.

Calor para esquentar 1 kg de éster de 20°C a 100°C:

$$0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times 1000 \text{ g} \times 80^\circ\text{C} = 40 \text{ kcal}$$

Calor para vaporizar 5g de H₂O:

$$5\text{g} \times 539 \frac{\text{cal}^*}{\text{g}} = 2,7 \text{ kcal}$$

Total: 42,7 kcal

2 - Centrifugação - para uma estimativa da energia gasta para a separação do éster por centrifugação, tomou-se como volume de óleo a ser centrifugado, o volume de 500 toneladas de óleo bruto por dia, que se situa dentro da capacidade de processamento das indústrias nacionais. Se for utilizada uma centrífuga de disco com descarga contínua, de 6250 r.p.m., a energia gasta será de 1,13 kcal/kg de óleo. Os cálculos foram baseados na referência (25).

* De acordo com a referência 21.

Podemos observar que os itens a, b e e-1 são apenas cálculos teóricos, não incluindo eficiências. Se supusermos que o calor é gerado com uma eficiência média de 72,5% temos para a, b e e-1, os valores de 58,6 kcal, 98,6 kcal e 58,9 kcal respectivamente.

Todos os cálculos foram baseados na energia gasta por kg de óleo de soja. Como de 1 kg de óleo de soja se obtém aproximadamente 1 kg de éster metílico de soja, todos os cálculos energéticos aqui considerados podem ser expressos em kcal/kg de éster metílico de soja produzido.

A tabela VII ilustra os gastos energéticos na produção de éster metílico de soja.

Observação: o cálculo do gasto energético para a produção de éster metílico de óleo de soja como não foi baseado em processo industrial, não leva em conta a otimização do fluxo de calor. Acreditamos, portanto, que este gasto esteja superestimado.

Valor calorífico - de acordo com a referência (26) o valor calorífico superior do éster metílico de óleo de soja é de 9712 kcal/kg.

ÉSTERES ETÍLICOS

Apesar da insuficiência de dados não nos permitir uma análise dos gastos energéticos na produção de ésteres etílicos de óleos vegetais, podemos obter alguma informação a partir da comparação com a energia necessária para a produção dos ésteres metílicos. A energia gasta para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar (3985 kcal/kg de etanol, 613 kcal/kg de óleo de soja)*

* Os números foram obtidos a partir dos dados da referência (4).

TABELA VII

GASTOS ENERGÉTICOS DA PRODUÇÃO DE ÉSTERES METÍLICOS DE ÓLEO DE SOJA (kcal/kg DE ÓLEO)

A	CALOR PARA REAÇÃO		58,6
B	DESTILAÇÃO		98,6
C	AGITAÇÃO		1,6
D ₁	PRODUÇÃO MeOH A PARTIR DE GÁS NATURAL	213	
D ₂	PRODUÇÃO MeOH A PARTIR DE ÓLEO PESADO		46
E ₁	SECAGEM DO ÉSTER	58,9	
E ₂	CENTRIFUGAÇÃO		1,1
SB	<u>SUBTOTAIIS:</u>	430,7	205,9
I	ENERGIA INDIRETA EMBUTIDA NOS BENS DE PRODUÇÃO	64,7	30,9
T	<u>TOTAIIS:</u>	495,4	236,8

é significativamente maior que aquela gasta para se produzir Metanol conforme mostra a tabela VII. Tendo o Etanol seu ponto de ebulição a uma temperatura mais alta que o Metanol, mais calor é necessário para a destilação do excesso. Além disso, a reação de transesterificação com Etanol, apresenta em geral menor eficiência a que a reação com Metanol. Tudo isso nos leva a acreditar que os ésteres etílicos consomem mais energia na sua produção que os ésteres metílicos.

CRAQUEAMENTO

Uma outra opção para a obtenção de derivados de óleos vegetais é o craqueamento termo-catalítico^(28,29,30). No entanto, a ausência de dados sobre a otimização desse processo, não nos per-

mite uma avaliação energética do mesmo. Acreditamos, porém, devido às altas temperaturas envolvidas (superiores a 300°C) que exista um gasto energético considerável na produção desse derivado.

CONCLUSÕES

A tabela VIII mostra o balanço energético da produção de ésteres metílicos de óleo de soja.

Observamos que considerando apenas o ponto de vista energético, a produção de derivados de óleo de soja não é muito promissora, uma vez que é gasta 70% da energia produzida. Isto se deve provavelmente ao baixo teor de óleo na soja (ver tabela IX) que torna o gasto energético na fase agrícola muito alto. Acreditamos que para espécies com maior rendimento em óleo esse gasto se apresente bem mais reduzido.

No entanto gostaríamos de lembrar que outros critérios também devem ser levados em conta para decidir pela viabilidade dos combustíveis de óleos vegetais. Do ponto de vista econômico, por exemplo, a soja é integralmente aproveitada fornecendo além do óleo, farelo utilizado para alimentação animal cujo preço médio de exportação em 1980 foi de US\$150 por tonelada FOB. Além disso, os ésteres de óleos vegetais fornecem como subproduto a glicerina. Deve-se levar em conta também o custo e a disponibilidade dos insumos necessários às várias etapas da produção. Um outro aspecto que também tem sido ressaltado é o da competição entre as terras disponíveis para as culturas "energéticas" e para a produção de alimentos⁽³¹⁾. Além disso, deve-se também considerar que, do ponto de vista alimentar, os óleos vegetais não são todos equivalentes como mostra a tabela X.

Em suma, consideramos necessário estender este estudo energético a outras espécies oleaginosas que venham também a preen-

cher os requisitos acima mencionados.

TABELA VIII

BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE ÉSTERES METÍLICOS DE ÓLEO DE SOJA

GASTOS ENERGÉTICOS	FASE AGRÍCOLA	4.627
	PROCESSAMENTO	1.977
	PRODUÇÃO DO ÉSTER	237
	TOTAL:	6.841
VALOR CALORÍFICO SUPERIOR DO ÉSTER METÍLICO (V.C.)		9.712
BALANÇO = V.C. - GASTOS ENERGÉTICOS		2.871

TABELA IX

PRODUTIVIDADE DE ALGUMAS OLEAGINOSAS ⁽¹⁵⁾

Ó L E O	t/ha
Dendê	3,00 - 5,00
Coco	1,30 - 1,90
Babaçú	0,20 - 0,30
Girassol	0,50 - 1,92
Colza	0,50 - 0,90
Amendoim	0,57 - 0,76
Soja	0,24 - 0,36
Algodão	0,11 - 0,20

Agradecemos ao Dr. Saad Romano pela valiosa colaboração.

TABELA X

CONTEÚDO DE ÁCIDOS GRAXOS ESSENCIAIS ⁽²¹⁾ (LINOLEICO E LINOLÊNICO)

DE ALGUNS ÓLEOS VEGETAIS

Ó L E O	% EM PESO
Coco	traços
Babaçú	1,4
Dendê	10,3
Colza	16,0
Milho	34,3
Algodão	47,8
Soja	57,2
Girassol	91,3

REFERÊNCIAS

1. M.H.Zockum: "A expansão da Soja no Brasil: Alguns Aspectos da Produção", Ensaios Econômicos, nº4, Instituto de Pesquisas Econômicas - Universidade de São Paulo, 1980.
2. A.A.Horvarth: "The Soybean Industry", the Chemical Publishing Co. of New York, Inc. Second Edition, 1936.
3. A.K.Smith e S.J.Circle editores: "Soybean: Chemistry and Technology", vol.1, AVI Publishing Co., INC, Westpoint, Connecticut, 1972.
4. J.G.Silva, G.E.Serra, J.R.Moreira, J.C.Gonçalves e J.Goldemberg; "Energy Balance for Ethyl Alcohol Production from Crops". Science 201, 8 (Set/78).
5. J.R.Moreira, G.E.Serra e J.Goldemberg; "Avaliação da Energia Investida na Fase Agrícola de Algumas Culturas". IV Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Álcoois como Combustível, Vol.III, 997. Guarujá - São Paulo, (Outubro de 1980).
6. G.E.Serra, J.R.Moreira, J.Goldemberg, A.M.Heezen: Relatório à Secretaria de Tecnologia Industrial, Ministério da Indústria e do Comércio (Setembro de 1979).
7. J.R.Barros, M.A.Fonseca, M.Baum: "Perfil Técnico-Econômico do Setor de Fertilizantes"; IPT, São Paulo, 1980.
8. PeD, 7(73), 11 (1979).
9. Cargill Agrícola - Comunicação privada.
10. Olma Bebedouro - Comunicação privada.
11. Olvebra - Comunicação privada.
12. K.Newcombe, J.Dkalma, J.A.Aston, AMBIO, 3, 1,3 (1978).
13. J.R.Moreira, V.R.Vanin e J.Goldemberg: "Energy Balance for the Production of Ethyl and Methyl Alcohol", Workshop on Fermentation Alcohol for use as Fuel and Chemical Feedstock in Developing Countries", Viena, Austria (Março 1979); Preprint IFUSP/P-165, 1979.
14. J.J.Bruwer, D.B.D.Boshoff, F.J.C.Hugo, J.Fuls, C.Hawkins, A.N.Walt, A.Engelbrecht, L.M.Plessis: "The use of sunflower seeds oil in Diesel Engined Tractors". IV Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Álcoois como Combustível, Vol.1, 397. Guarujá - São Paulo (Out. de 1980).
15. Energia - Fontes Alternativas, Vol. II, nº 11.
16. K.S.Markley - Fatty Acids - Part 2 - 2a. Edição Interscience Publishers, Inc. New York.

17. H.J.Wright, J.B.Seur, H.V.Clark, S.K.Coburn, E.E.Langdon e R.N. Du Puis: Oil & Soap, 21, 145 (1944).
18. J.C.Reis, Oleagineux, 4, 249 (1959).
19. Chemical Specialities, Comunicação privada.
20. International Critical Tables.
21. CRC Handbook, 52ª edição.
22. Krell-Lumb, Handbook of Laboratory Distillation.
23. A. e E. Rose: Technique of Organic Chemistry, Vol. IV.
24. Mc.Cabe & Smith: Unit Operations of Chemical Engineering.
25. Perry & Chilton, Chemical Engineer's Handbook.
26. Volkswagen do Brasil S/A. Pesquisa/04.481.
27. CESP - Comunicação privada.
28. A.A.Craveiro, F.J.A.Matos, J.W.Alencar, E.R.Silveira: Energia - Fontes Alternativas, 3, 12, 44 (1981).
29. J.W.Alencar - Comunicação privada.
30. Chia-Chu Chang e Shen-Wu Wan: Ind. and Eng. Chemistry, 39, 12 1543 (1947).
31. F.Homem de Melo: "Proálcool, Energia e Transporte", Fundação de Estudos e Pesquisas Econômicas, Relatório de Pesquisas.