UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE MANDIOCA, CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO

DIONES ASSIS SALLA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Maio – 2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE MANDIOCA, CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO

DIONES ASSIS SALLA

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Cabello

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Maio – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Salla, Diones Assis, 1951-
S168a Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho / Diones Assis Salla. – Botucatu : [s.n.], 2008.
xv, 168 f.: il. color.,gráfs, tabs.

Tese(Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Cláudio Cabello
Inclui bibliografia.

1. Biomassa. 2. Carboidratos. 3. Etanol. 4. Energia. 5. Sustentabilidade. I. Cabello, Cláudio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL DE MANDIOCA, CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO"**

ALUNO: DIONES ASSIS SALLA

ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO CABELLO

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. CLAUDIO CABELLO

PROF. DR. OSMAR DE CARVALHO BUENO

PROF. DR. SILVIO J. BICUDO

PROF. DR. RICARDO AUGUSTO DIAS KANTHACK

PROF. DR. MANOEL LIMA DE MENEZES

Data da Realização: 20 de maio de 2008.

AGRADECIMENTOS

Durante a realização desta pesquisa, busquei agir com a eficiência que me foi possível e relatar com fidedignidade, sempre atento à maneira de ver a verdade e de como descrevê-la claramente, separando a condição de pesquisador da condição de participante do experimento. Evitei fazer o chamado jornalismo opinativo, buscando ao máximo dar aos temas o tratamento científico diferenciado, empregando toda a acuidade possível. Não tenho a intenção de impor, convencer, ou converter alguém. Excetuando idéias e hipóteses de pesquisa, nada tenho também para vender. Por outro lado, procurando defender permanentemente, com veemência, a análise racional científica, não conservo a ilusão de que o que escrevo esteja sempre de algum modo totalmente isento de influencias políticas, morais e/ou sociais. Fiz tudo o que pude para eliminar as idéias preconcebidas, ou afirmar sobre qualquer coisa dogmaticamente. Se por deficiência de expressão aconteceu em algum trecho, a intenção que presidiu toda a pesquisa não foi essa.

O que ofereço aqui, com especial afinco, é o balanço justo e equilibrado do resultado, por meio do estudo e do cortejo de idéias. Não pretendo oferecer palavras finais nem afirmações definitivas, ou a verdade final. Contudo, subordino-me tão somente ao objetivo da Ciência que não é o ato de *encontrar* a verdade, mas simplesmente, como obrigação, o ato de *procurar* a verdade, ainda que seja parcial e temporária, e difundi-la.

Finalizo este trabalho, ciente de que nenhuma pesquisa é realizada tão-somente por uma pessoa. Há sempre várias que cooperam na sua realização. Registro aqui os nomes das quatro primeiras individualidades entre as muitas existentes, fora ou dentro do ambiente universitário, que compõem a galeria daqueles que sinceramente admiro e que não podem faltar às afirmações veementes de minha gratidão por tudo o que me ajudaram: **Joana Avelino da Silva, Rosa Maria Salla, Cláudio Cabello e Waldo Vieira.**

Além dessas personalidades, agradeço a todos os estudiosos da área energética que me ofereceram auxílio, subsídios, ou opiniões sobre questões deste trabalho, em especial a **Osmar de Carvalho Bueno**, **Fernanda de Paiva B. Furlaneto e Amauri Siviero** sem deixar de mencionar estes três componentes da equipe de pesquisa do Centro de Raízes e Amidos Tropicais que foram fundamentais na execução e na viabilização dos experimentos: **Douglas Alexandre Janes, Luiz Henrique Urbano e Sérgio Ricardo Inoue.**

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS VIII
LISTA DE FIGURAS XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS XIII
RESUMO 01
ABSTRACT 04
1. INTRODUÇÃO 07
2.REVISÃO DE LITERATURA 10
2.1 A energia nos agroecossistemas 10
2.2 A Cultura da Mandioca 15
2.2.1 Botânica 15
2.2.2 Características da planta 15
2.2.3 História e origem da mandioca 16
2.2.4 Composição da mandioca 18
2.2.5 Usos da mandioca 18
2.2.6 Pesquisas com mandioca e a modernização do setor 19
2.2.7 Variedades de mandioca e as pesquisas futuras 19
2.2.8 Mandioca transgênica 21
2.2.9 Cultivo da mandioca 21
2.2.9.1 Cultivo da mandioca no mundo 21
2.2.9.2 Cultivo da mandioca no Brasil 22
2.2.10 Colheita da mandioca 25
2.2.11 Indicativo dos potenciais da mandioca para produção de energia 27
2.2.12 Indicativos do consumo de energia para a hidrólise do amido 28
2.2.13 Indicativos de eficiência energética da mandioca e de repercussões ambientais 30

Continua ...

2.3 A Cultura da Cana-de-açúcar 31
2.3.1 Botânica 31
2.3.2 Características da planta 31
2.3.3 História e origem da cana-de-açúcar 31
2.3.4 Composição da cana-de-açúcar 33
2.3.5 Usos da cana-de-açúcar 33
2.3.6 Pesquisas com cana-de-açúcar e a modernização do setor 33
2.3.7 Variedades de cana-de-açúcar 34
2.3.8 Cana-de-açúcar transgênica 36
2.3.9 Cultivo da cana-de-açúcar 36
2.3.9.1 Cultivo da cana-de-açúcar no mundo 37
2.3.9.2 Cultivo da cana-de-açúcar no Brasil 38
2.3.10 Colheita da cana-de-açúcar 39
2.3.11 Energia fóssil envolvida no processo agrícola e industrial da cana-de-açúcar 40
2.3.12 Recursos ambientais envolvidos com o cultivo da cana-de-açúcar 42
2.3.12.1 Concepções favoráveis à manutenção dos restos culturais da cana-de-açúcar no agroecossistema de cultivo 42
2.3.12.2 Concepções favoráveis ao aproveitamento dos restos culturais da cana-de-açúcar para produção de energia 45
2.4 A Cultura do Milho 47
2.4.1 Botânica 47
2.4.2 Características da planta 47
2.4.3 História e origem do milho 48
2.4.4 Composição do milho 49
2.4.5 Usos do milho 50
2.4.6 Pesquisas Genéticas com milho 50
2.4.7 Cultivares de milho 50
2.4.8 Milho transgênico 51

Continua ...

2.4.9 Cultivo do milho 52
2.4.9.1 Cultivo do milho no mundo 52
2.4.9.2 Cultivo do milho no Brasil 53
2.4.10 Colheita do milho 53
2.4.11 Sistema de produção do milho 54
2.4.12 Energia fóssil envolvida no processo agrícola e industrial do milho ... 58
2.4.13 Energia envolvida com as sementes do milho 60
2.4.14 Recursos ambientais envolvidos no cultivo do milho 61
2.5 Índices Energéticos (os fornecidos pela literatura e os adotados nesta pesquisa) 62
2.5.1 Mão-de-obra 62
2.5.2 Material de propagação (manivas,toletes,sementes) 65
2.5.2.1 Material de propagação da mandioca (manivas) 65
2.5.2.2 Material de propagação da cana-de-açúcar (toletes) 66
2.5.2.3 Material de propagação do milho (Sementes) 66
2.5.3 Combustíveis (óleo diesel, etanol, óleo lubrificante e graxa) 67
2.5.4 Depreciação de máquinas e equipamentos (drenagem energética) 68
2.5.5 Corretivos do solo e fertilizantes químicos 69
2.5.6 Agrotóxicos (Herbicida e inseticida) 71
3. MATERIAL E MÉTODOS 72
3.1 Planejamento experimental 72
3.1.1 Balanço de massas de processo de produção de etanol de mandioca 72
3.1.1.1 Matéria-prima 72
3.2 Levantamento de dados de pesquisas sobre o balanço de energias nas culturas da mandioca, cana-de-açúcar e milho 73
3.3 Pesquisa de campo 75
3.3.1 Delimitação do sistema para obtenção dos dados de campo 75
3.3.2 Prospecção dos dados 76
Continua ...
3.3.2.1 Etapa de produção agronômica da mandioca 76

3.3.2.2 Etapa de processamento industrial da mandioca 78
3.3.2.3 Etapa de produção agronômica da cana-de-açúcar 80
3.3.2.4 Etapa de processamento industrial da cana-de-açúcar 83
3.3.2.5 Etapa de produção agronômica do milho 83
3.3.2.6 Etapa de processamento industrial do milho 87
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 89
4.1 Antecedentes da Pesquisa 89
4.1.1 Ensaios laboratoriais do balanço de massas 89
4.1.2 Síntese da extração, exportação e reciclagem de nutrientes/energia pelas culturas da cana-de-açúcar, milho e mandioca 92
4.1.3 Pesquisa de campo 95
4.1.3.1 Energias investidas na produção agrícola da matéria-prima 95
4.1.3.1.1 Custo energético da produção agrícola da matéria-prima 95
4.1.3.1.2 Custo energético na produção agrícola de um litro de etanol 98
4.1.3.2 Energias investidas no processamento industrial da matéria-prima ... 99
4.1.3.2.1 Custo energético do processamento industrial da matéria-prima por tonelada e por hectare 100
4.1.3.2.2 Custo energético do processamento industrial da matéria-prima por litro de etanol produzido 102
4.1.3.3 Energias investidas na produção agrícola e no processamento industrial da matéria-prima 103
4.1.3.4 Balanço Energético 108
4.1.3.5 Custo energético para a manutenção dos equipamentos de processamento industrial da matéria-prima 109
4.2 Considerações finais 111
5. CONCLUSÕES 115
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 116
APÊNDICE 149

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Balanço energético para a produção de etanol da cana-de-açúcar sob condições brasileiras	41
2	Produção mundial de milho em grãos, safras 1996/1997 a 2000/2001,t 10^6	54
3	Produtividade do milho, Brasil e Estado de São Paulo, 1996 a 2001, em kg ha^{-1}	56
4	Análise centesimal de raiz da variedade Fécula Branca	89
5	Energia extraída, exportada e reciclada pelos elementos minerais e sintetizada do etanol.	94
6	Demonstrativo do custo energético (**MJ ha^{-1}**) para produção de um hectare da matéria-prima	96
7	Demonstrativo do custo energético (**MJ ha^{-1}**) para produzir 1 litro de etanol nas principais operações agronômicas de produção da matéria-prima	98
8	Demonstrativo do custo energético para o processamento de uma tonelada (**MJ t^{-1}**)e de um hectare (**MJ ha^{-1}**) de matéria-prima	100
9	Demonstrativo do custo energético (**MJ l^{-1}**) para produzir 1 litro de etanol nas principais operações industriais de processamento da matéria-prima ..	102
10	Demonstrativo do envolvimento energético (**MJ ha^{-1}**) na produção e no processamento de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho para a produção de etanol	104
11	Demonstrativo do envolvimento energético (**MJ ha^{-1}**) na produção e no processamento de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho, para a produção de etanol, sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de tratamento do mosto e da destilação	106

Continua...

12 Demonstrativo do custo agronômico/industrial e o balanço energético do etanol 108

13 Demonstrativo do consumo energético (**KJ l^{-1}**) com a manutenção dos equipamentos de preparo e obtenção do caldo fermentescível 110

APÊNDICE

14 Sistematização dos dados dobre a extração, a reciclagem e a exportação de macronutrientes, sintetizados da revisão bibliográfica 1489

15 Estimativa de produção de etanol, a partir da produtividade média encontrada na pesquisa de campo 153

16 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de mandioca 154

17 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de mandioca 155

18 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de mandioca 156

19 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca 157

20 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca 158

21 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com materiais de manutenção das operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca 158

22 Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio 159

	energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de cana-de-açúcar	
23	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de cana-de-açúcar	160
24	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de cana-de-açúcar	161
25	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações mecanizadas de processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar	162
26	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de cana-de-açúcar	163
27	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com materiais de manutenção das operações de processamento industrial de uma tonelada de cana-de-açúcar	163
28	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de milho	164
29	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de milho	165
30	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de milho ..	166
31	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações de processamento de uma tonelada de milho	167
32	Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de milho	168

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Amostra populacional de Manihot esculenta subsp. flabelifólia indicando a possível origem da mandioca	17
2	Comparação de custos para produção do etanol na Austrália, no Brasil, na Tailândia, na China, na USA e na União Européia	38
3	Possível localização da origem do milho	48
4	Balanço de massa do etanol, da água, do CO_2 e dos efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de álcool etílico	90
5	Macronutrientes exportados pela cana-de-açúcar, pelo milho e pela mandioca	92
6	Macronutrientes extraídos, reciclados e exportado pela cana-de-açúcar, pelo milho e pela mandioca	94
7	Demonstrativo gráfico do custo energético para produção de um hectare da matéria-prima	96
8	Demonstrativo gráfico do custo energético para produzir um litro de etanol, nas principais operações de agronômicas de produção da matéria-prima	98
9	Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ t^{-1}) para o processamento industrial de uma tonelada de matéria-prima	100
10	Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ ha^{-1}) para o processamento industrial de um hectare de matéria-prima	101
11	Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ l^{-1}) para produzir um litro de etanol nas principais operações de processamento industrial da matéria-prima	102
12	Demonstrativo gráfico do envolvimento energético (MJ ha^{-1}) na produção e no processamento de um hectare da matéria-prima para a produção de etanol	105

Continua...

13 Demonstrativo gráfico do envolvimento energético (MJ ha^{-1}) na produção e no processamento industrial de um hectare de matéria-prima, sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de “tratamento do caldo” e da “destilação” 107

14 Demonstrativo gráfico do custo agronômico/industrial e o balanço energético do etanol no cultivo da cana-de-açúcar, mandioca e milho na região paulista do Médio Paranapanema no período de 2007 109

APÊNDICE

15 Macronutrientes extraídos do agroecossistema de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho 150

16 Macronutrientes exportados do agroecossistema de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho 150

17 Macronutrientes reciclados no agroecossistema em um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho 151

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABAM	Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca
alq	Alqueire
APTA	Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios do Médio Paranapanema
BRIX	Porcentagem de sólidos solúveis do caldo
C3	Carbono três
C4	Carbono quatro
cal	Caloria
Caldo	Mosto fermentescível
CTC	Centro de Tecnologia da Cana
CTnbio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
cv	Cavalo vapor
h ano^{-1}	Horas por ano
h t^{-1}	Horas por tonelada
ha	Hectare
hp	Horsepower (potência elétrica)
hp MJ^{-1}	Potência elétrica por Megajoule
IAA	Instituto do Açúcar e de Álcool
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IAF	Índice de área foliar
IEA	Instituto de Economia Agrícola da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo
ITESP	Instituto de Terras do estado de São Paulo
J	Joule
K	Potássio
K_2O	Óxido de potássio
Kcal	Quilocaloria

Continua...

Kcal kg^{-1}	Quilocaloria por quilograma
kg	Quilograma
kg m^3	Quilograma por metro cúbico
kg t^{-1}	Quilograma por tonelada
KJ	Quilojoule
KJ l^{-1}	Quilojoule por litro
l ha^{-1}	Litro por hectare
l t^{-1}	Litro por tonelada
l t^{-1}	Litro por tonelada
$m^3(ha\ ano)^{-1}$	Metros cúbicos por hectare-ano
Mg	Toneladas métricas
MJ	Megajoule
MJ $(kg\ aço)^{-1}$	Megajoule por quilograma de aço
MJ h^{-1}	Megajoule por hora
MJ ha^{-1}	Megajoule por hectare
MJ kg^{-1}	Megajoule por quilograma
MJ l^{-1}	Megajoule por litro
MJ t^{-1}	Megajoule por tonelada
N	Nitrogênio total
OMC	Organização Mundial do Comércio
P	Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de fósforo
PCI	Poder calorífico inferior
pH	Potencial hidrogeniônico
ppb	Parte por bilhão
RME	Rape Methyl Ester
S	Enxofre
SAF	Sistema Agroflorestal
sc	Sacas de 60 quilos
SP	Estado de São Paulo

STD	Standard
t ano^{-1}	Tonelada por ano
t h^{-1}	Tonelada por hora
t(ha $ano)^{-1}$	Tonelada por hectare-ano
UFPB	Universidade Federal de Pernambuco (PB)
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos (SP)
ÚNICA	União da Agroindústria Canavieira de São Paulo
USDA	United States Department of Agriculture
VBP	Valor Bruto da Produção
Σ	Somatório

RESUMO

A hipótese subjacente à pesquisa é a de que a cultura da mandioca consome menos energia no processo de obtenção de etanol do que as demais fontes amiláceas em análise. O objetivo principal deste trabalho é a análise energética de sistemas de produção de etanol utilizando como fonte de carboidratos a mandioca, a cana-de-açúcar e o milho. Como antecedentes da pesquisa procedeu-se a determinação dos balanços de massa de etanol, de CO2, de água e de resíduos gerados em cada estágio do processamento das raízes de mandioca. Os experimentos para essa etapa foram conduzidos no Laboratório de Processamento e Análise do Centro de Raízes e Amidos Tropicais - CERAT/UNESP e os valores obtidos foram produzidos em escala reduzida e apresentados para 1.000 kg de matéria-prima. Estudos complementares também foram realizados para examinar as energias exportadas do agroecossistema, referentes aos macronutrientes que estão contidos nas raízes da mandioca, nos colmos da cana-de-açúcar e nos grãos de milho. Os procedimentos metodológicos adotados nesse segmento foram embasados na revisão da literatura sobre fertilização da mandioca, do milho e da cana-de-açúcar e na conversão da biomassa em etanol. As pesquisas de campo foram realizadas na região do Vale do Médio Paranapanema, estado de São Paulo, para a obtenção de informações sobre o consumo e o requerimento energético das operações agronômicas de cultivo e de processamento industrial das matérias-primas em análise. O dispêndio de energia referente à parte agrícola é apresentado pelo consumo energético da etapa de produção de um hectare de cana-de-açúcar, de mandioca e de milho, nas operações de preparo da área, plantio, insumos, condução da lavoura, colheita, transporte à indústria e drenagem energética. O dispêndio de

energia referente à parte industrial é apresentado pelo consumo energético da etapa de processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar, de mandioca e de milho, nas operações de desintegração/moagem, hidrolise/sacarificação/tratamento do caldo, fermentação, destilação e manutenção dos equipamentos. Os resultados referentes aos balanços de massa determinaram que 1.0000 kg de raízes de mandioca exigem 1.600 litros de H2O, dissipam 154 kg de CO2, convertem 166 kg de biomassa em etanol (99,5 GL) e geram 2.270 kg de efluentes. O resultado do exame das energias exportadas do agroecossistema, referentes aos macronutrientes contidos nas raízes da mandioca, nos colmos da cana-de-açúcar e nos grãos de milho, constataram que para uma mesma correspondência energética a mandioca é a cultura que menos exporta energia do agroecossistema (1MJ ha^{-1} exportado para cada 30,1 MJ ha^{-1}produzidos), seguida da cana-de-açúcar (1MJ ha^{-1}exportado para cada 21,7 MJ ha^{-1}produzidos) e do milho (1MJ ha^{-1} exportados para cada 5,9 MJ ha^{-1}produzidos). No sistema de produção agronômica das matérias-primas, a mandioca apresentou um dispêndio energético inferior ao da cana-de-açúcar e ao do milho. (9.528,33 MJ ha^{-1}**;** 14.370,90 MJ ha^{-1} e 15.633,83 MJ ha^{-1}, respectivamente**).** Em relação ao etanol produzido, as operações de cultivo consumiram 1,54 MJ l^{-1} com a mandioca; 1,99 MJ l^{-1} com a cana-de-açúcar; e 7,9 MJ l^{-1} com o milho. No processamento industrial de uma tonelada de matéria-prima, a cana-de-açúcar apresentou um custo energético menor do que a mandioca e o milho (1.641,56 MJ t^{-1}; 2.208,28 MJ t^{-1} e 3.882,39 MJ t^{-1}, respectivamente), entretanto, apresentou um custo maior do que estas quando relacionada ao etanol produzido (19,38 MJ l^{-1}; 11,76 MJ l^{-1} e 11,76 MJ l^{-1}, respectivamente). No balanço energético final, para cada megajoule de energia investido na cana-de-açúcar foram requeridos 1,09 MJ (9%); para cada megajoule de energia investido na mandioca foram requeridos 1,76 MJ (76%) e para cada megajoule de energia investido no milho foram requeridos 1,19 MJ (19%). Na manutenção e/ou substituição de equipamentos necessários ao esmagamento da cana-de-açúcar foram despedidos 4,66 KJ para cada litro de etanol produzido e com a manutenção dos equipamentos de desintegração das raízes de mandioca foram despedidos 0,60 KJ por litro de etanol produzido. Nesse aspecto, o consumo energético das operações da cana-de-açúcar é de aproximadamente 7, 76 vezes superior ao da mandioca. De maneira geral, conclui-se que a mandioca consome menos energia do que a cana-de-açúcar e o milho no processo agroindustrial de obtenção do etanol e se relaciona de modo mais sustentável com o agroecossistema de cultivo. O desempenho apresentado amplia

a visibilidade sobre as potencialidades energéticas das espécies e acena para a necessidade de prosseguimento das pesquisas nas áreas agronômicas, no processamento industrial e nas repercussões produzidas no agroecossistema.

Palavras Chave: biomassa, carboidrato, energia, etanol, sustentabilidade.

THE ENERGETIC ANALYSIS OF ETHANOL SYSTEMS PRODUCTION FROM THE CASSAVA, THE SUGAR CANE AND THE CORN CROPS

Botucatu, 2008, 168p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Diones Assis Salla

Adviser: Cláudio Cabello

ABSTRACT

The focus of this research is that the cassava crops consumes less energy to obtain ethanol than the sugar cane and the corn crops. The main objective of this work is the analysis of the energetic ethanol production systems using as a source of carbohydrates, cassava, sugar cane and maize crops. As background to the search proceeded a determination of the balance sheets of ethanol mass, CO2, water and waste generated at each stage of processing of cassava roots. The experiments were conducted in the Processing and Analysis Laboratory of the Centre for Tropical Root and starches - CERAT / UNESP and figures were produced in small scale and presented to 1,000 kg of raw material. Further studies were also performed to examine the energy exported from the agroecosystem, on macronutrients that are contained in the roots of the cassava, the stem of sugar cane and corn seed. The methodological procedures adopted in that segment were based in the review of literature on fertilization of cassava, corn and sugar

cane and the conversion of biomass into ethanol. The searches were carried from the field in the Paranapanema River Valley, state of Sao Paulo and seek information on energy consumption and application of agricultural operations of cultivation and industrial processing of raw materials for analysis. The expenditure of energy concerning the agricultural part is made by the energy consumption of stage production of one hectare of sugar cane, cassava and corn, tillage and planting procedure, inputs, driving the crop, harvest, transport industry and energy draining. The expenditure of energy referring to the part is made by the industry energy consumption of stage processing of one tonne of sugar cane, cassava and corn, in the operations of disintegration / milling, hydrolysis / sacarificação / treatment of the broth, fermentation, distillation and maintenance of equipment. The results for the balance of mass determined that 1.0000 kg of cassava roots require 1,600 liters of H2O, CO2 dissipate 154 kg, 166 kg of converting biomass into ethanol (99.5 ^{0}GL) and generate 2,270 kg of waste. It was observed throughout the energy exported from the agroecosystem, on macronutrients contained in the roots of the cassava, in stems of sugar cane and corn grain, found that for the same correlation energy, cassava is the fewest export of energy agroecosystem (1MJ ha^{-1} exported for each 30.1 MJ produced ha^{-1}), followed by sugar cane (1MJ ha^{-1} exported for each 21.7MJ ha^{-1}produced) and corn (1MJ ha^{-1} exported to each 5.9 MJ ha^{-1}produced). Under the system of agronomic production of raw materials, manioc presented an energy expenditure below that of sugar cane and maize (9,528.33 MJ ha^{-1}; 14,370.90 MJ ha^{-1} and 15,633.83 MJ ha^{-1}, respectively). For the ethanol produced, the operations of cultivation has consumed 1.54 MJ l^{-1} with manioc; MJ 1.99 l^{-1} with sugar cane, and 7.9 MJ l^{-1} with the corn. In the industrial processing of a ton of raw material, sugar cane presented an energy cost less than the cassava and maize (1,641.56 MJ t^{-1}; 2,208.28 MJ t^{-1} and MJ 3,882.39 t^{-1}, Respectively), however, showed a higher cost than when they related to ethanol produced (19.38 MJ l^{-1}; 11.76 MJ l^{-1} and 11.76 MJ l^{-1}, respectively). In the final energy balance for each megajoules of energy invested in sugar cane were required 1.09 MJ (9%), for each megajoules of energy invested in cassava were required 1.76 MJ (76%) and for each megajoules energy invested in maize were required 1.19 MJ (19%). In the maintenance and / or replacement of equipment required for the crushing of sugar cane were fired KJ 4.66 for each liter of ethanol produced and the maintenance of equipment of disintegration of the roots of cassava were fired KJ 0.60 per liter of ethanol produced. In this respect, the energy consumption of operations of the sugar cane is

about 7, 76 times higher than the cassava. Overall, it appears that the cassava consumes less energy than sugar cane and corn crops in the process of agribusiness obtaining of ethanol and is related to a more sustainable with the agroecosystem of cultivation. The performance presented extends the visibility on the potential energy of the species and waved to the need for further research in the areas of agronomic, processing industry and the effects produced in agroecosystem.

Keywords: Biomass, carbohydrate, energy, ethanol, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Os cenários da área energética apontam para a progressiva redução das reservas de carbono fóssil. O esgotamento dessas reservas, aliado à crescente demanda energética da sociedade contemporânea, está provocando uma ascensão nos preços do petróleo, situação agravada em razão de as reservas mais importantes desse produto se concentrarem em poucas regiões no mundo.

Nos últimos cinqüenta anos, o uso intensivo de energia não-renovável significou importantes avanços e proporcionou conquistas imprescindíveis para a humanidade. No entanto, de forma paralela, surgiram dificuldades complexas que, isoladas ou em cadeia, vêm promovendo alterações climáticas de forma irreversível. O esgotamento das reservas, especialmente do petróleo mais fino, aliado à crescente demanda energética e à necessidade inadiável de reduzir as emissões de carbono para a atmosfera, sinaliza para a necessidade de modificações com urgência como a adoção de fontes energéticas renováveis e limpas.

Dentre as fontes de energia renovável, a biomassa poderá responder por parcela substantiva dessa oferta futura. Assim, a ampliação da participação da biomassa a partir da utilização de fontes amiláceas na matriz energética é, entre outras, a oportunidade de executar de modo sustentável as políticas de cunho social, ambiental e econômico.

A produção de etanol por fermentação de substratos amiláceos vem sendo objeto de pesquisas que buscam aperfeiçoar a conversão desses materiais de um modo mais rápido e a menores custos. Atualmente, o país possui uma matriz energética com

significativa participação de energias renováveis a partir da cana-de-açúcar, tendo acumulado importante experiência na produção de álcool como combustível.

Dentre as matérias-primas vegetais fornecedoras de energia, o milho tem sido objeto de maiores investigações, devido principalmente à sua presença no cenário econômico norte-americano (GRAY et al, 2006).

No Brasil, a utilização da mandioca como matéria-prima para produção de etanol sempre foi discutida tomando-se como referencial a cultura da cana-de-açúcar que lhe concorre com vantagens econômicas nada desprezíveis. No entanto, quando a análise é procedida a partir da contabilidade energética das operações de cultivo, do processamento industrial e das repercussões no agroecossistema, a mandioca pode revelar vantagens nada desprezíveis em relação ao milho e à cana-de-açúcar. Entretanto, diferentemente do milho e da cana-de-açúcar, principais matérias-primas para produção de etanol, a mandioca continua ausente nos debates públicos sobre biocombustíveis; não é contemplada nas dotações orçamentária; nas diretrizes das instituições públicas agrícolas; nos financiamentos bancários e, não é prioridade entre as linhas de pesquisa.

A abundância do cultivo da mandioca em todo o território nacional, sua robustez, facilidade de propagação, elevada tolerância à estiagem e ao excesso de chuvas, bons rendimentos mesmo em solos de baixa fertilidade, baixa exigência em insumos modernos, potencial resistência/tolerância a pragas e a doenças, elevado teor de amido nas raízes, possibilidade de consórcio com inúmeras plantas, resistência à propagação do fogo, alternativa para reutilização das áreas degradadas, cultivo e colheita em qualquer época do ano são alguns atributos para a geração de energia de baixo impacto ambiental. Uma análise apenas econômica tem ofuscado os potenciais da mandioca para geração de energia limpa. Por outro lado, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar modernizou um setor arcaico e tradicional, mudou a relação dos fornecedores com os industriais, diminuiu a taxa de ociosidade das unidades processadoras, deu força à indústria de açúcar, motivou as montadoras a desenvolverem modelos de veículos *flex fuel* e com menores custos de produção e escalabilidade, deu à cadeia um ganho de produtividade sem precedentes.

A questão principal e norteadora que se coloca para o presente trabalho é a análise da energia consumida durante o processo de produção e de processamento industrial das matérias-primas bem como a energia obtida na forma de etanol. As análises

energéticas em pauta devem revestir-se, portanto, de igual importância comparativamente às demais análises, sendo talvez aquela que traduza de forma privilegiada situações captadas de maneira mais estrutural e sustentável. Espera-se que as investigações ajudem a elucidar o quanto se tem ignorado, distorcido e interpretado erroneamente as evidências relativas ao potencial energético dos cultivos examinados. A ausência de abordagens científicas e de estudos comparativos tem ofuscado o desafio crítico conceitual que os potenciais de cada cultura poderiam trazer para a teoria e para a prática das ciências em geral.

O tema principal da pesquisa é a "análise das energias requeridas e liberadas para o sistema de produção de etanol a partir da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho".

A hipótese subjacente à pesquisa é a de que a cultura da mandioca consome menos energia no processo de obtenção de etanol do que as demais fontes amiláceas em análise, uma vez que: a quantidade de nutrientes exportados do agroecossistema de cultivo, pelas raízes da mandioca é menor do que os exportados pelos colmos da cana-de-açúcar e pelos grãos de milho; a energia consumida nas operações de cultivo da mandioca é menor do que a energia consumida nas operações de cultivo da cana-de-açúcar e nas do milho; a energia consumida no processamento industrial, por litro de etanol produzido, é menor na mandioca do que na cana-de-açúcar e no milho; os balanços energéticos finais apresentados pala mandioca são superiores aos apresentados pela cana-de-açúcar e pelo milho; o consumo energético para manutenção dos equipamentos industriais de processamento das raízes de mandioca é menor do que aqueles demandados pelos colmos da cana-de-açúcar e pelos grãos de milho.

Mesmo que para a ciência seja indiferente fazer proposições, a pesquisa foi concebida para que os resultados alcançados concorressem para o progresso e para o crescimento do setor bioenergético. Além do mais, a ampliação da participação da biomassa, a partir do desenvolvimento de fontes amiláceas, propicia a oportunidade de executar políticas de cunho social, ambiental e econômico em todo o território nacional. Será também uma iniciativa para promover importante aumento de novos investimentos, emprego, renda e desenvolvimento tecnológico, além de uma oportunidade para atender parte da crescente demanda mundial por combustíveis de reduzido impacto ambiental.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A energia nos agroecossistemas

Os ecossistemas devem ser entendidos como unidades estruturais e funcionais básicas da natureza, onde as inter-relações de suas comunidades (animais e vegetais) estabelecem um equilíbrio dinâmico (PASCHOAL, 1979). Agroecossistema é um ecossistema artificial implantado pelo homem, objetivando a obtenção de alimentos, fibras e outros materiais, altamente tecnificado e dependente de importações de energia, formado por um único organismo com alto desempenho de produção (PASCHOAL, 1979; ODUM, 1986).

Para Odum (1986), os agroecossistemas apresentam uma dependência energética de regiões distantes e uma saída que exerce um impacto sobre elas; diferem dos ecossistemas naturais ou seminaturais que utilizam a energia gratuita do Sol, tais como lagos e florestas, em três características básicas: (1) a energia auxiliar que aumenta ou subsidia a entrada de energia solar está sob o controle do homem, consistindo em trabalho humano e animal, fertilizantes, pesticidas, água de irrigação e combustível para mover a maquinaria; (2) a diversidade de organismos está muito reduzida (novamente pela ação humana), para maximizar a produção de um determinado alimento ou outro produto; (3) as plantas e animais dominantes sofrem a seleção artificial e não a seleção natural.

Com vistas à avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas, Schroll (1994), afirma que a relação entre a energia contida nos alimentos e a energia contida nos insumos gastos para a sua produção (combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas e

inseticidas) é uma das alternativas para avaliar a sustentabilidade da agricultura. De modo semelhante, Rodrigues dos Santos (2006), relata que a abordagem energética e/ou a análise de fluxos de energia é uma forma de avaliação do seu nível de desenvolvimento.

Para Bueno (2002), a análise energética ao apresentar índices que relacionam entradas e saídas de energia no agrossistema, justificar-se enquanto instrumento complementar de avaliação do processo produtivo, principalmente como importante instrumento no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não-renováveis.

Para Santos et al. (2001), os sistemas de produção agrícola precisam ser energeticamente sustentáveis, uma vez que são sistemas abertos e a quantidade de energia que entra deve ser preferencialmente igual ou menor à que sai. Preocupação, essa, já demonstrada por Carmo e Comitre (1991), sobre a tendência de apresentação de alto conteúdo em capital físico e energético nas tecnologias agrícolas dominantes, promovendo desequilíbrios nas relações naturais e impactos no meio ambiente, principalmente os recursos de energia fóssil, aos quais dispendem maior quantidade de energia (CARMO et al., 1993). Confirmação que ratifica o posicionamento de Heichel (1980), ao qual o maquinário, o consumo direto de combustíveis e fertilizantes nitrogenados compõem a maior entrada de energia nos processos produtivos agrícolas convencionais.

De acordo com Pimentel (1984), em nações industrializadas, como os Estados Unidos, a energia de origem fóssil se torna um recurso vital para a produção, assim como o são os recursos terra e água. Relata que os usos dominantes da energia nos Estados Unidos se referem a combustíveis para movimentar a maquinaria agrícola e a matéria prima para produzir fertilizantes e pesticidas. Os pesticidas são obtidos a partir do petróleo, enquanto os fertilizantes de nitrogênio são produzidos a partir do gás natural.

Para Hunt (1986), mais da metade da potência requerida nas propriedades agrícolas é consumida pelas operações de preparo de solo. Para Mello (1986), a quantificação de modelos qualitativos dá condição à identificação de desperdícios de energia, de componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência energética ou simplesmente eliminados, ou seja, interferir na estrutura do sistema para torná-lo mais eficiente energeticamente. Na mesma linha de raciocínio, Comitre (1993) afirmou que a análise energética é importante porque possibilita estimar a energia investida, compreender os

fluxos de energia, identificar os pontos de desperdício energético e os componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência.

Dada essa necessária reflexão, relativa à dependência e à demanda energética envolvidas nos agroecossistemas, é oportuno citar Bueno et al. (2000). Para esses pesquisadores o "balanço energético" é um instrumento destinado a contabilizar as energias produzidas e as energias consumidas em um determinado sistema de produção, onde o seu objetivo principal é traduzir em unidades ou em equivalentes energéticos as exigências físicas do sistema produtivo e dos consumos intermediários, possibilitando a construção de indicadores comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência.

A análise energética quantifica, de maneira estimada, a energia diretamente consumida e/ou indiretamente utilizada (como parte integrante do fluxo energético global), em pontos previamente estabelecidos de um determinado sistema produtivo (HESLES, 1981). É um processo de avaliação das "entradas" (*inputs*) e "saídas" (*outputs*) de energia de agroecossistemas, para posterior e concomitante interação com análises em outros campos do conhecimento (BUENO, 2002).

A FAO (1976) classificou os recursos energéticos em renováveis e não renováveis. Recursos energéticos renováveis compreendem os produtos originários do processo fotossintético como biomassa em geral, lenha e dejetos agrícolas; energia solar, hídrica, eólica, das marés e geotérmica; recursos energéticos não renováveis compreendem os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) e os combustíveis nucleares.

Quanto ao destino ou utilização da energia, Junqueira et al. (1982) consideraram a energia não utilizada diretamente no agroecossistema como sendo aquela que gera o bem estar dos agricultores, animais de trabalho, máquinas e equipamentos; combustíveis; agrotóxicos etc; ou seja, a energia que não vai fazer parte do produto; energia utilizada e convertida de maneira direta em produto final: energia solar, energia contida nos nutrientes do solo, nos adubos e nos alimentos, quando se tratar de animais.

Do ponto de vista da forma com que os recursos energéticos se apresentam na natureza, Macedônio e Picchioni (1985) consideram energia primária as fontes provindas da natureza na sua forma direta, como a energia luminosa provinda do Sol, a energia química provinda do petróleo, a energia mecânica provinda do vento ou da água, entre

outras. A energia secundária é considerada aquela derivada da energia primária que passa por um centro de transformação. Por exemplo, o óleo diesel é energia química secundária, derivada da energia química primária do petróleo encontrado na natureza.

Do ponto de vista da origem dos recursos energéticos, Carmo e Comitre (1993) consideram energia de origem biológica, a humana, animal, resíduos de animais e da agroindústria, material genético de propagação, alimentos para os animais, adubação verde e cobertura morta; a energia de origem fóssil como sendo os produtos e subprodutos do petróleo (combustíveis, lubrificantes, graxa, adubos químicos e agrotóxicos); e a energia de origem industrial como sendo a contida nos tratores e equipamentos agrícolas (tração mecânica e animal) e energia elétrica.

Quanto aos fluxos de energia existentes no processo de produção agrícola, Malassis (1973) considerou três categorias: fluxos externos, internos e perdidos ou reciclados. Entretanto, Comitre (1993) afirma que existem dificuldades práticas para a quantificação do fluxo perdido ou reciclado, assim como compensações entre as energias perdidas e as recicladas. Para a autora, o fluxo externo é aquele aplicado aos ecossistemas agrícolas, constituindo-se de dois tipos básicos de energia, a saber: energia direta e energia indireta. O fluxo interno é a energia contida na produção, ou seja, gerada pelo próprio ecossistema agrícola. O fluxo perdido ou reciclado é formado pelas energias não utilizadas durante o processo produtivo, mais aquelas não aproveitadas pelo homem.

Ulbanere (1988) classificou os fluxos energéticos em energias direta e indireta. A energia direta é o conteúdo energético dos combustíveis e lubrificantes. A energia indireta é o conteúdo dos demais insumos e maquinaria, tais como: sementes, corretivos, fertilizantes, agrotóxicos, tratores, colheitadeiras, implementos e equipamentos. O trabalho humano não foi contabilizado em seus estudos.

Para Bueno (2002), as análises de fluxos energéticos se dão em nível de ecossistemas, isto é, enfoques de avaliação da estabilidade de agroecossistemas pelas entradas de energia associadas às suas saídas em forma de calor e biomassa produzida. Desse modo baseou os seus estudos na classificação de fluxos energéticos adotados por Comitre (1993), onde as formas de entrada de energia no agroecossistema, como mão-de-obra, sementes e trabalho animal, são de origem biológica; óleo diesel, lubrificantes e graxas são de origem fóssil; e ambas (biológica e fóssil) são consideradas energia do tipo direta. Máquinas,

implementos, corretivo de solo, adubos químicos e agrotóxicos foram considerados formas de energia de origem industrial do tipo indireta. Zanini et al (2003) afirmaram que a maioria dos autores que trabalham com balanço energético de sistemas agrícolas classifica a energia consumida no processo produtivo também sob duas formas: direta e indireta (DOERING III et al., 1977; CASTANHO FILHO e CHABARIBERY, 1983; COMITRE, 1993; e CAMPOS, 2001). A energia direta utilizada no processo produtivo inclui o combustível fóssil utilizado e outras formas de energia derivadas do petróleo, tais como aquelas contidas nos lubrificantes, nos adubos e nos defensivos agrícolas. Os autores também afirmaram que, para um estudo completo da energia investida, deve-se considerar as energias de origem biológica, como os trabalhos humano e animal e aquela contida nas sementes e mudas. A energia indireta utilizada na agricultura é aquela empregada na fabricação de maquinários, de construções e de outros *inputs* necessários à produção.

Recomenda-se a construção de índices energéticos no sentido de mensurar e comparar relações e grandezas que “entram” e “saem” dos agroecossistemas (MELLO, 1986). Para Hart (1980) são dois os tipos de “entradas” energéticas nos agroecossistemas: energia em forma de radiação solar e energia contida nos insumos culturais. As “saídas” energéticas são aquelas provenientes de lavouras ou animais.

Segundo Bueno (2002), os índices mais utilizados na literatura são eficiência e produtividade cultural, e eficiência e produtividade ecológica. A diferença entre eles se caracteriza pela inclusão ou não da radiação solar como insumo energético a ser contabilizado nos agroecossistemas. Para o autor, foi necessário delimitar o sistema consumidor de energia, optando-se pela não inclusão dos dados de incidência solar face às dificuldades de obtenção de dados mais precisos e a sua consideração como fonte gratuita de energia.

Vários autores não consideram a incidência solar em seus trabalhos. São eles: Pimentel et al. (1973), Leach (1976), Cox e Hartkins (1979), Hart (1980), Pimentel (1980), Palma e Adams (1984), Quesada et al. (1987), Ulbanere (1988), Beber (1989), Pellizi (1992), Comitre (1993), Campos et al. (2000), Campos (2001), e, Pinto (2002).

2.2. A Cultura da Mandioca

2.2.1 Botânica

Segundo a classificação botânica a mandioca pertence à família *Euphorbiaceae*, assim como a mamona e a seringueira (LIMA, 2001). A palavra mandioca deriva do vocábulo *manioc* (palavra de origem tupi), mas sua denominação científica é *Manihot esculenta* Crantz, a espécie de maior interesse agronômico. O gênero Manihot apresenta cerca de 180 espécies descritas, a maioria das quais nativas do Brasil.

Na espécie *Manihot esculenta* Crantz encontram-se grupos de mandiocas mansas, doces ou de mesa e mandiocas bravas, amargas ou venenosas, enquadradas em centenas de variedades. A única maneira de separar os dois grupos é pela toxidade, sendo as mandiocas bravas mais venenosas que as mansas. Entretanto, esse caráter de toxidade das plantas não é muito seguro, pois conforme vários autores, ele é influenciado pela natureza do solo e do clima, além de outros fatores, podendo uma variedade mansa transformar-se em brava e vice-versa, de acordo com as condições a que for submetida.

No Norte e Nordeste brasileiro mandioca é o nome dado às variedades bravas, e macaxeiras ou macaxera às variedades mansas. No sul do Brasil as variedades mansas chamam-se aipim. Em Minas Gerais e São Paulo o termo mandioca é usado indiferentemente para designar as plantas de um ou de outro grupo.

2.2.2 Características da planta

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta perene, heliófila, herbácea quando nova, lenhosa, subarbustiva ou raramente arbórea na maturidade, não ramificada ou ramificando-se de vários modos, arbustiva, de raízes tuberosas, folhas pecioladas, inflorescência em panículas onde se encontram, separadas, flores masculinas e femininas. As espécies silvestres de mandioca podem variar de cipós, árvores com mais de 10m de altura e até anãs que não ultrapassam a 30 centímetros.

O sistema radicular da mandioca tem uma baixa densidade de raízes, porém tem uma penetração profunda, o que dá à planta parte da capacidade para resistir a longos períodos de déficit hídrico, suportar o clima quente, tolerar à seca e adaptar-se às mais

variadas condições de clima e de solo. As raízes fibrosas podem penetrar até a 2,5 m de profundidade.

A maioria dos autores tem colocado a mandioca como uma espécie representativa do grupo de plantas que apresentam fotossíntese do tipo C_3. Alguns resultados indicam que a mandioca é uma planta com características fotossintéticas intermediárias entre as plantas C_3 e C_4.

O cultivo da mandioca é tão antigo e o intercâmbio de mudas e sementes tão intenso e descontrolado que se torna impossível uma classificação botânica absolutamente certa, devido à modificação das características das variedades silvestres em relação às cultivadas. Também é impossível julgar o valor econômico das diversas variedades, cada uma comporta-se diferentemente em cada clima, altitude e solo, ou seja, a inconstância das variedades no aspecto botânico também se manifesta na produção (TAKAHASHI e GONÇALO, 2001).

2.2.3 História e origem da mandioca

O gênero *Manihot*, tipicamente americano, foi disperso pelos indígenas a toda área brasileira, à América Central e ao México. Chegou até às Filipinas e continente africano levado pelos chineses e portugueses. Assim temos hoje estabelecidas culturas de mandioca em todas as regiões de clima tropical. A mandioca é planta de origem brasileira, sua cultura é das mais antigas e tradicionais do Brasil, já era cultivada pelos índios muito antes do descobrimento.

Olsen e Schaal (2001), em estudos com variação genética, pesquisaram a evolução geográfica de origem da mandioca (*Manihot esculenta* subsp. *esculenta*) e a estrutura populacional de familiares de mandioca silvestre. Duzentos e doze indivíduos foram examinados, representando 20 acessos colhidos; vinte e sete populações de mandioca, o mais próximo familiar silvestre de *M. esculenta subsp. flabelifolia* e seis populações de uma espécie potencialmente hibrida (*M. pruinosa*). Setenta e três alelos foram observados ao longo de todos os lócus e populações. Desses, cinqüenta e três eram exclusivos da M. *esculenta subspécie flabelifolia*. Esses dados indicam o caminho percorrido pela mandioca e corroboram com os estudos realizados por Olsen e Schaal (1999).

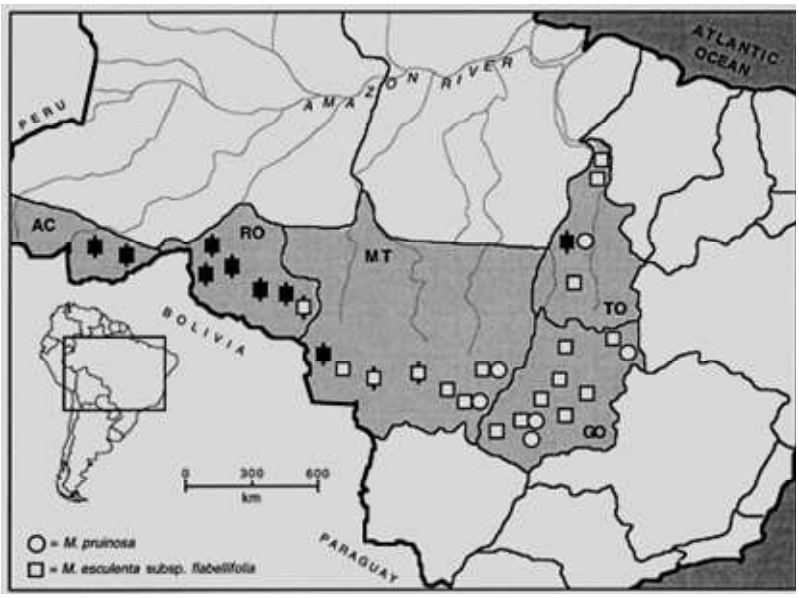

Figura 1. Amostra populacional de Manihot esculenta subsp. flabelifólia indicando a possível origem da mandioca
Fonte: Olsen e Shaal (2001)

Localização amostral de populações de M. *esculenta subsp. flabelifolia* está representado, no mapa, por quadrados e a M. *pruinosa* por círculos. Quadrados negros indicam populações de mandiocas agrupadas com o vizinho próximo ao ancestral de origem. Ou seja, a *M. esculenta* subsp. *Flabelifolia* indica que o ancestral que deu origem a mandioca está localizado em algum lugar ao longo da borda sul da Amazônia, nos Estados do Acre, Rondônia e Mato Grosso.

A cultura da mandioca tem grande importância tanto agronômica como cultural, pois essa planta é a principal fonte de alimento nas regiões pobres do país, além de ter seu centro de origem e domesticação na região Amazônica (SAMPAIO, 2005). Entre os séculos XVI e XIX a alimentação do brasileiro, de um modo geral, e, sobretudo nas áreas em que mais se fez sentir a influência indígena, sustentava-se basicamente na cultura e no consumo da mandioca (*Manihot spp.*) e da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) segundo suas diferentes maneiras de preparo (FREIRE, 1963).

2.2.4 Composição da mandioca

Basicamente, cinco grupos de substâncias são encontrados nas plantas: carboidratos (87%), proteínas (3%), lipídeos (1%), lignina (3%) e ácidos orgânicos (3%) (PEREIRA, 1989). O produto primário da fotossíntese é o carboidrato e sua conversão em outros compostos orgânicos envolve um custo energético representado pela respiração de síntese. A eficiência de conversão diminui com o decréscimo no teor de carboidrato. As raízes de mandioca são ricas em carboidratos, mas possuem baixos níveis de outros nutrientes (COCK, 1985). De acordo como o mesmo autor, as raízes tuberosas, ricas em fécula, utilizadas na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias, são a parte mais importante da planta. Além das substâncias citadas, existem princípios tóxicos na mandioca. A ação dos glicosídeos cianogênicos de alto grau de toxidade que limita a utilização de alguns alimentos pelo homem e animais, é conhecida já há muito tempo. Entre as plantas cultivadas e que encerram maior quantidade dessas substâncias, sobressaem a mandioca e o sorgo. Esses glicosídeos, na presença de ácidos diluídos a quente e no caso de tecidos vegetais sob a ação de enzimas, sofrem hidrólise e liberam o ácido cianídrico ou prússico (HCN), substância altamente venenosa e potente inibidora da atividade de enzimas da cadeia respiratória. São considerados os seguintes tipos de mandioca, em relação ao conteúdo em ácido cianídrico: grupo HCN/100g de polpa fresca (mansas até 10 ppm; intermediárias entre 10 e 50 ppm; bravas ou tóxicas acima de 100 ppm).

2.2.5 Usos da mandioca

A mandioca, uma cultura predominantemente de utilização na alimentação, consumida na forma in natura ou como farinha, atende extensas populações. Estima-se que mais de 600 produtos derivados das raízes podem ser elaborados pela indústria do amido. Toda a planta da mandioca pode ser usada integralmente na alimentação de várias espécies de animais domésticos, como bovino, bubalinos, aves e suínos. As raízes são fontes de carboidratos e proteínas, esta última concentrada nas folhas. De acordo com Cereda (1996), o potencial dessa planta encontra-se ainda praticamente inexplorado, já que toda a tecnologia do processamento continua se preocupando basicamente em produzir farinha.

2.2.6 Pesquisas com mandioca e a modernização do setor

A espécie *M. esculenta* apresenta variedades que têm produtividades consideradas elevadas. Usando modelagem matemática, Cock (1974) afirmam que o potencial produtivo da cultura da mandioca pode ser estimado de 80 a 90 t de matéria fresca por hectare, o que equivale de 30 a 32 t de matéria seca por hectare.

Temperaturas altas e fotoperíodos longos estão relacionadas à proporção de matéria seca que chega às raízes. Quanto maior a radiação interceptada pela mandioca, maior é sua eficiência fotossintética e maior a sua produção de matéria seca. A longevidade da folha também é afetada pela quantidade de luz. Cock et al. (1977) fez revisões importantes sobre aspectos ecofisiológicos que permitiram o acesso e a obtenção de muitos dados sobre a cultura da mandioca.

Com o desenvolvimento de novos clones de mandioca que vão aos poucos incrementando uma maior produtividade no campo, racionalização no manejo da cultura, desenvolvimento de melhorias na produção agrícola, obtiveram-se maiores produções globais.

De acordo com Venturini Filho e Mendes, citados por Cereda et. al. (2004), duas coisas têm desmobilizado o uso da mandioca para produção de etanol: a baixa produtividade agrícola e o maior consumo energético necessário à hidrólise do amido no preparo do mosto.

Lorenzi (2006), em um projeto de envergadura, tem buscado identificar e estabelecer parâmetros agronômicos e fitotécnicos relevantes para produção de mandioca em grande escala. Segundo o pesquisador, os desafios são enormes, devido ao ciclo da planta completar-se entre 11 a 15 meses; inexistência de defensivos e modos de aplicação; falta de manejos testados; baixo grau de mecanização da colheita etc. Ou seja, para a cultura da mandioca existem fronteiras que não foram suficientemente identificadas e dominadas e daí as suas potencialidades serem ainda subavaliadas.

2.2.7 Variedades de mandioca e as pesquisas futuras

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é considerada eficiente produtora de carboidratos, sendo cultivada em diferentes condições edafoclimáticas e oferece grande oportunidade para o melhoramento genético (KAWANO, et al., 1978). Entretanto,

dentre as plantas cultivadas é a que tem merecido menor atenção dos geneticistas e melhoristas.

Sob a coordenação de Nassar (1998), uma equipe multidisciplinar da Universidade de Brasília, composta de nutricionistas, biólogos e agrônomos aceitaram o desafio de descobrir as características de cada espécie de mandioca. Assim procedendo, encontraram uma variedade silvestre que ainda mantinha suas propriedades originais. Reproduzindo o processo de polinização, que na natureza é feito pelas abelhas, cruzaram duas espécies de mandioca: a comum, boa para o consumo, mas que tem no máximo 2% de proteína, e a silvestre, com 9% de proteína, mas imprópria para o consumo. O resultado foi uma supermandioca com 5% de proteínas. Outra característica manifestada pela nova variedade foi a presença da luteína, um antioxidante que protege o organismo humano contra o câncer (NASSAR, 2000).

Algumas instituições têm dado atenção ao melhoramento energético da mandioca, tais como o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia; o Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), na África; algumas instituições de pesquisa na Índia; o Instituto Agronômico de Campinas, em São Paulo e o Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, na Bahia.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura, unidade localizada em Cruz das Almas, Bahia, mantém a maior coleção nacional de germoplasma de mandioca dos trópicos, com 2.012 variedades mantidas no campo. O programa de melhoramento genético tem gerado e difundido novas cultivares para vários ecossistemas brasileiros, com características superiores, tais como tolerância à seca, resistência à podridão de raízes e à bacteriose, com maior produtividade e mais ricas em vitamina A.

Por milhares de anos, agricultores ancestrais vigiaram os campos e observaram os céus na esperança de bom tempo e de safra abundante. E quando encontravam plantas que produzissem bem, mesmo com tempo ruim tentavam domesticá-las. Os agricultores antigos também selecionavam plantas de acordo com suas qualidades nutricionais, muitas vezes utilizando o próprio corpo como laboratório, optando por aqueles cultivares que produzissem repercussões positivas no organismo (FARALDO et al., 2000).

Assim, propagando seletivamente plantas com traços desejáveis, os agricultores forneceram inconscientemente versões de genes presentes nos cultivares de

mandioca que conhecemos hoje. Essas características podem ter sido identificadas em variedades selvagens e preservadas até nossos dias através dos hábitos indígenas de produzir farinha, amido, tapioca, caiçuma (cerveja indígena), tucupi e outros.

De maneira geral temos ignorado, distorcido e interpretado erroneamente as evidências relativas ao potencial energético da mandioca. Essa atitude tem ofuscado o desafio crítico conceitual que o estudo desses atributos poderia trazer para a teoria e para a prática das ciências em geral e das ciências agroenergéticas em particular. O Brasil é considerado o centro de origem e dispersão da mandioca. Estima-se existir 4.000 variedades.

2.2.8 Mandioca transgênica

As variedades até hoje desenvolvidas no Brasil e no mundo não são transgênicas, ao contrário, elas são um resgate de mandiocas do nosso passado. Entretanto, pesquisadores do German Resource Centre for Biological Material estão desenvolvendo uma variedade de mandioca geneticamente modificada resistente ao vírus mosaico. Os primeiros testes já estão sendo realizados na África. Os cientistas isolaram amostras do vírus encontrado no Sudão, no Congo e na Nigéria (AGROW, 2006).

2.2.9 Cultivo da mandioca

2.2.9.1 Cultivo da mandioca no mundo

Mais de oitenta países produzem mandioca. Entretanto, mais de dois terços da produção mundial estão localizados em cinco países. A estimativa anual global de produção de raízes de mandioca, entre 1998 e 2001 foi de 168 milhões de toneladas, das quais cerca de 70% foi produzido na Nigéria, Brasil, Tailândia, Indonésia e Republica Dominicana do Congo. Zaire, Angola, Tanzânia, Moçambique, Gana e Índia também têm uma produção de mandioca significativa (FAO 2001). Ainda segundo a mesma fonte, a mandioca é produzida em praticamente todos os países da América do Sul e tem tido um maior crescimento relativo na América do Norte e na América Central. A Holanda, Espanha, China, Bélgica, Indonésia, Coréia, Portugal, Japão e Alemanha são importadores de mandioca raiz, mandioca desidratada e amido. A Tailândia é grande exportadora de mandioca, junto com a Indonésia são responsáveis pela quase totalidade das exportações. O Brasil exporta mandioca para a Argentina, Venezuela, Paraguai, Uruguai, Bolívia, África do Sul, Chile e EUA.

Dentre os continentes, a África (53,32%) é o maior produtor mundial seguido pela Ásia (28,08%), pelas Américas (18,49%) e pela Oceania (11%). No Brasil, maior produtor continental, a mandioca é uma das culturas mais importantes e a de maior volume de produção após a cana-de-açúcar, apenas nos últimos anos perdeu essa posição para milho e soja (KANTHACK, 2006).

2.2.9.2 Cultivo da mandioca no Brasil

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é cultivada em todos os estados brasileiros, o que demonstra a sua capacidade de adaptação às diversas condições edafoclimáticas. Os maiores produtores do país são os Estados do Pará e da Bahia, entretanto, sua produção é destinada basicamente à produção de farinha para consumo humano. O Estado do Paraná destaca-se como maior produtor de amido com 67% da produção nacional, seguido pelo Estado do Mato Grosso Sul com 23%, São Paulo com 7%, Santa Catarina com 2% e os Estados de Minas Gerais e Ceará com apenas 1% (ABAM 2004).

De acordo com a ABAM (2005) a produção de fécula de mandioca em 2005 foi de 546,5 mil toneladas o que representa um consumo em torno de 2 milhões de toneladas de raízes. A produção do excedente é consumida na forma *in natura*, como farinhas, polvilho azedo e outros produtos. As agroindústrias existentes não consomem toda a produção de raízes nas regiões onde estão instaladas em virtude do excesso de oferta, que provoca uma depressão nos preços e desestimulo à próxima safra. Esse efeito já é bem observado na cadeia produtiva.

Encontra-se em funcionamento no Brasil 87 fecularias ou unidades industriais de produção de amido, distribuídas pelos Estados de Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rondônia, Ceará, Paraná, São Paulo, Mato Grosso e Pará. O Paraná conta com o maior e mais moderno parque industrial do país; existem atualmente 41 indústrias de médio e grande porte (GROXKO, 2003).

Na região do Médio Paranapanema, a mandioca é predominantemente cultivada em pequenas e médias propriedades, num total de até 20% da área e, mais de 90% dos produtores possuem áreas com até 70 hectares. Cultivos mais extensos, em áreas superiores a 200 hectares, são feitos por meio de parceria com empresas produtoras de amidos modificados e por arrendatários na renovação de pastagens. Existe na região,

aproximadamente, 25 fecularias com capacidade de processamento de 2.350 toneladas de mandioca por dia.Para os próximos anos, com o crescimento da demanda de etanol espera-se aumento no preço do milho, pressionado pelo aquecimento da demanda para a exportação, favorecendo os atuais mercados de produtos de mandioca,tanto de amido quanto de farinha de mesa e, talvez, para o álcool, à medida que este poderá substituir o álcool de milho no segmento de bebidas e cosméticos, face à provável mudança dos preços relativos (FURLANETO et al., 2008).

O recente interesse para produção de mandioca em grande escala, como matéria-prima para a fabricação de amido e ração para alimentação animal, tem conduzido a preocupações em relação ao manejo do solo e a possibilidade de uma degradação intensa, já que a cultura da mandioca demora muito a cobrir o solo em sua fase pós-plantio (SOUZA e SOUZA, 2002). Nesse contexto, a utilização de um sistema de manejo mais conservacionista nos cultivos de mandioca tem sido importante, devido ao baixo índice de área foliar das plantas, que deixa o solo desprotegido durante o primeiro ciclo vegetativo, e, conseqüentemente, intensificando os fatores que levam à degradação do solo. Por esse prisma, a mandiocultura se identifica com as praticas adotadas pela agricultura de base familiar, onde se cultiva a mandioca em consórcio com o feijão, o arroz, o milho, entre outros. Assim, além da proteção do solo, essa prática melhora os rendimentos da propriedade e reduz o custo de implantação da lavoura.

O sistema de plantio consorciado é largamente difundido nas regiões tropicais, sendo prática cotidiana na agricultura de base familiar, visando um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e um maior rendimento médio das culturas envolvidas. Além dos benefícios já citados, a consorciação da mandioca com o milho, com o amendoim, com o arroz, com a batata doce, com a melancia, com a abóbora e com o feijão promove uma composição alimentar mais rica e variada para os agricultores familiares e ao mesmo tempo gera um excedente para o mercado, aumentando a renda dos agricultores (SOUZA e SOUZA, 2002). Outro modo de cultivo da mandioca no Brasil é o consórcio com as culturas perenes. Estas, no estágio inicial de crescimento, possuem uma baixa eficiência no aproveitamento da energia solar, da água, dos nutrientes e do espaço. Para contornar esse problema e minimizar o custo de produção durante o estabelecimento dos cultivos perenes, a

mandioca vem sendo associada às culturas do dendê, do coco, do guaraná, do café, dos citros, entre muitos outros.

A manutenção de uma cobertura é importante na cultura da mandioca, pois ela protege o solo contra os agentes erosivos (DERPSCH, 1985; CALEGARI, 1993), já que apresenta crescimento inicial relativamente lento coincidindo com períodos de chuvas intensas. Além disso, a cultura deve ficar livre da competição com plantas indesejáveis até no mínimo 60 dias após o plantio (LORENZI e DIAS, 1993).

Historicamente a mandioca apresenta-se como cultura pouco exigente e rústica, entretanto, o cultivo comercial vem superando essa visão e adquirindo contornos de um cultivo tão exigente a técnicas melhoradas quanto às demais culturas comerciais. O fato de a mandioca ser pouco exigente quanto ao potencial agrícola dos elementos naturais, não justifica seu cultivo com técnicas agrícolas menos sofisticadas. Isso resulta em produtividades modestas e ofusca seu potencial para compor o programa de biocombustíveis, notadamente quanto à conversão de energia (LORENZI et al., 1984).

Entretanto, o cultivo da mandioca tem adquirido os princípios de agricultura industrializada e apresenta-se como alternativa lucrativa ao produtor rural, notadamente à propriedade de base familiar, dado a sua forma de cultivo ainda essencialmente manual. Independente da região do país ou do nível tecnológico empregado, os principais fatores técnicos que determinam a quantidade e a qualidade da produção de mandioca dizem respeito à época de plantio, ao preparo do solo, à variedade, à seleção das ramas, à população de plantas, o espaçamento e ao controle de doenças, pragas e das espécies concorrentes não desejáveis economicamente. Apesar de, em nível experimental, terem sido obtidas produtividades de até 70 toneladas por hectare, a produtividade média mundial e brasileira situa-se abaixo deste patamar. No Brasil, este desempenho insatisfatório é decorrente da mandioca ser uma cultura de subsistência, onde são empregadas práticas culturais inadequadas, falta de adoção de tecnologia em virtude da rusticidade, reduzida informação científica sobre o seu cultivo e utilização de solos de baixa fertilidade (LORENZI, 2006).

A média nacional está muito aquém do potencial produtivo da espécie que, de acordo com estudos realizados por Cock, 1974, pode-se alcançar produtividades anuais de 90 toneladas por hectare. Essa projeção matemática feita há mais de trinta anos já se tornou realidade. De acordo com Oke (2005), a Nigéria, através de pesquisas realizadas

conjuntamente por várias instituições, desenvolveu variedades de mandioca de alta produtividade e tolerante a doenças. O país já alcançou produtividades de 80 a 90 toneladas de mandioca por hectare.

Em pesquisa realizada por Mendonça et al. (2003), no estado do Acre, avaliando genótipos de mandioca, em quatro épocas de colheita, sem uso de fertilizantes ou correção de solos, o genótipo MD-33 foi o mais produtivo, seguido pelos genótipos Pão e Baianinha Roxa, apresentando 54,24 t/ha, 44,04 t/ha e 42,10 t/ha de raiz, respectivamente. A empresa Halotek Fadel Indústria LTDA, que processa 500 toneladas de mandioca por dia durante 12 meses do ano, já registra produtividades acima de 40 toneladas por hectare, em cultivos de dois ciclos (24 meses).

O Estado de São Paulo ocupa a sexta posição na hierarquia nacional, com uma produção de 883 mil toneladas, em uma área estimada de 51 mil hectares em 2006. O valor da produção da mandioca para indústria no estado correspondeu a R$74 milhões (TSUNECHIRO et al., 2007). Segundo o Instituto de Economia Agrícola (AGRIANUAL, 2006), no Estado de São Paulo destacam-se como principais produtores os municípios pertencentes aos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs/CATI) de Assis, Ourinhos, Mogi-Mirim, Tupã e Presidente Prudente, sendo que Assis e Ourinhos localizam-se no Médio Paranapanema.

2.2.10 Colheita da mandioca

Foram os agricultores que definiram os períodos mais propícios para a colheita da mandioca e que se identificam através das oscilações dos teores de água, de amido e de fibras encontradas nas raízes durante o ano. Verificaram também que nos períodos secos e frios, entre duas estações de águas, é que as qualidades desejáveis das raízes estão presentes no seu mais alto grau. Por isso destinaram esse período ao aproveitamento do produto. Posteriormente foram definidas em bases científicas as marchas de absorção dos elementos nutritivos, as curvas de crescimento e as oscilações nos teores de água, amido, fibras e outros componentes das raízes e da parte aérea, visando melhor aproveitamento econômico, principalmente pelas agroindústrias (FARALDO et al., 2000).

A colheita deve ser iniciada de acordo com o ciclo da variedade utilizada no plantio e é feita manualmente, através do arranquio das raízes. As raízes colhidas

deverão ser processadas pela indústria durante as primeiras vinte e quatro horas, para não comprometer a qualidade dos seus produtos. A produtividade varia de acordo com as variedades utilizadas, espaçamento e os tratos culturais empregados na cultura. A colheita da mandioca é feita quase sempre manualmente. Um trabalhador consegue colher de 800 a 1000 kg/dia. Na região Centro Sul Brasileira é feita de maneira manual ou com auxílio de implementos (afofador e arrancador), sendo esse último, o método mais utilizado nas grandes áreas e cuja destinação é a industrialização, pois, há um ganho significativo no rendimento da colheita quando executada pelos implementos Agrícolas (AGRIANUAL, 2006). O processo de colheita tem as seguintes etapas: poda das ramas, efetuada a uma altura de 20 a 30 cm acima do nível do solo, pode ser feito de maneira manual ou com auxílio de implementos; passagem de implementos mecanizados como o afofador ou arrancador de raízes; arranquio das raízes do solo que pode ser executado de maneira manual, com a ajuda de ferramentas ou através de implementos mecanizados, como o arrancador; retirada das raízes das cepas da mandioca, também conhecido como "despinicar".

Após o arranquio ou colheita, as raízes devem ser amontoadas em pontos na área a fim de facilitar o recolhimento pelo veículo transportador. O carregamento das raízes do campo até o local do beneficiamento é feito por meio de cestos, caixas, sacos, grades de madeira etc. Na Região Centro Sul do Brasil também se usa bolsões de lona, conhecidos por *big bag*, que realizam o carregamento de raízes do chão à carroceria dos caminhões de transporte. Esse procedimento é feito com auxilio de um trator munido de equipamento hidráulico que eleva as bolsas para cima dos caminhões, ocasião em que um operário desfaz o nó e as raízes caem dentro do transportador. Um dos sérios problemas enfrentados pelos produtores de mandioca, independentemente da destinação das raízes como matéria-prima para fins industriais ou consumo “in natura”, é a elevada perecibilidade do produto após a colheita (ABAM, 2005). Em geral admite-se que o tempo entre a colheita e o recebimento pela indústria ou mercado direto não exceda 48h, para que não ocorra a deterioração fisiológica e/ou bacteriológica.

2.2.11 Indicativo dos potenciais da mandioca para produção de energia

CEREDA et al. (2004), defendem a produção de etanol a partir da mandioca. Segundo eles, a exemplo dos cereais, essa raiz produz álcool de qualidade superior podendo apresentar outras aplicações além de carburante. De acordo com os mesmos autores, a produção de álcool de mandioca pode ser incentivada em regiões onde as condições de solo são impróprias para o cultivo da cana-de-açúcar, mas apropriadas à cultura da mandioca que é pouco exigente em fertilidade. Os autores citados propõem, também, o cultivo da mandioca em regiões de baixa densidade demográfica e de baixa renda *per capita*, como forma de melhorar a distribuição de renda no país.

Sobre a produção de energia, Alvin e Alvin (1979) relatam que a utilização de biomassa para fabricação de combustíveis constitui uma enorme esperança em relação ao futuro das regiões tropicais. Segundo eles, a abundância de energia fóssil foi o fator que, em última análise, provocou o maior desenvolvimento agrícola das zonas temperadas do globo. E ainda, considerando-se a crise generalizada de combustíveis fósseis e o maior potencial de produção biológica das regiões tropicais, pode-se ter esperança de alcançar uma distribuição mais equilibrada da riqueza do mundo ou, mais especificamente, um maior equilíbrio econômico entre regiões temperadas e tropicais.

Harmmond (1977) aborda com grande entusiasmo as iniciativas voltadas à substituição de combustíveis fósseis de jazidas não renováveis, por combustíveis de origem renovável. Em suas apreciações, reforça a posição privilegiada do Brasil para promover as substituições. Segundo ela, já na década de 70, através do Instituto Nacional de Tecnologias do Rio de Janeiro, o país tinha desenvolvido tecnologias para produzir álcool a partir da mandioca, cujos testes, em escala comercial, tiveram pleno êxito.

De acordo com Maschio (2004), a ABAM (Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca) negocia a exportação para a Tailândia de tecnologia brasileira de produção de álcool a partir da mandioca. A projeção inicial é que a Tailândia instale cinco usinas construídas com o uso da tecnologia brasileira, com capacidade para produzir 200 mil litros diários de álcool de mandioca cada uma, de forma experimental. A Tailândia é um país essencialmente importador de combustíveis e a produção de álcool de mandioca é vital para seus interesses internos.

Capra (2002), em defesa à produção de energia, afirma que no setor de transporte é possível alcançar uma economia inestimável. Segundo ele, as regras de livre comércio da Organização Mundial do Comércio (OMC) foram concebidas para sufocar a produção local e substituí-la pela importação e exportação, que aumenta extraordinariamente as distâncias que os produtos têm que percorrer e impõe um fardo pesadíssimo aos gastos energéticos e ao meio ambiente.

Knhi et al. (1981) relataram um método de obtenção de álcool a partir de resíduos fibrosos descartados da produção de fécula de mandioca. Após a sacarificação de 1000g de resíduos sólidos secos ao sol (umidade 13%) utilizando alfa-amilase e amiloglucosidase, com posterior filtragem, foram obtidos 618g de fécula de mandioca (peso seco), correspondendo a 670g de açúcares redutores recuperados. O meio para fermentação foi ajustado a 15% de açúcares redutores e complementado com sais minerais e fontes de nitrogênio. O tempo de fermentação foi de 96 horas e foram obtidos 30,2% de etanol em relação à concentração do resíduo sólido inicial e 48% em relação ao teor de amido do resíduo sólido.

Jaleel et al. (1988), testando um método de obtenção de etanol a partir de um meio de cultura contendo 30% de material residual, submetera ao tratamento com ácido sulfúrico a 2,5% e com adição de amiloglucosidase, obtiveram 16,5% de açúcares redutores que se converteram em 6,9% de etanol, representando uma conversão de açúcares a etanol de 42% .

Leonel (1988), utilizando farelo de mandioca (subproduto do processo de obtenção de fécula) como substrato e pectinase como auxiliar na hidrólise enzimática, concluiu que o processo é viável técnica e economicamente. Farelo de mandioca com concentrações de 6,0 e 12,0% de amido na suspensão apresentou rendimentos de glucose em 96,2% e 84,3%, respectivamente. O rendimento de álcool etílico foi de 51,1%.

2.2.12 Indicativos do consumo de energia para a hidrólise do amido

Para obter a sacarificação do amido é necessário hidratar o grânulo do amido, que é realizado através do cozimento da mesma. Esse processo é designado de gelatinização e para realizar essa etapa são necessários *inputs* de energia. Embora sejam raros

os trabalhos de pesquisa que se referem ao consumo de energia para gelatinização do amido de mandioca para obtenção do etanol, encontram-se alguns que podem subsidiar os estudos.

A mandioca (*Manihot eculenta* Crantz) é um importante vegetal colhido em regiões tropicais onde representa a base dos alimentos energéticos e também uma importante fonte de carboidratos, perdendo apenas para o arroz, o trigo e o milho (MOORTHY e MATHEW, 1998). Raízes de mandioca são preparadas e consumidas de formas diferentes, podendo ser cozidas igual batata ou cozidas antes de fritar. De acordo com Lorenzi, (1994) e Ngeve, (2003), a aceitabilidade de produtos alimentares à base de mandioca depende da textura após o processamento e varia de acordo com a cultivar, o período de colheita das raízes, o tipo de solos e de outros fatores.

Para outros pesquisadores (SAFO-KANTANKA e OWUSU- NIPAH, 1992; EGGLESTON e ASIEDU, 1994; VERLINDEN et al., 1995), a textura final de gomificação da mandioca é igual ao da batata e ambas dependem da parede celular do amido, das lâminas intermediárias do amido e da modificação dos carboidratos durante o processo de cozimento. Tempos de 30 minutos são aceitáveis para o cozimento da mandioca, mas tempos entre 10 e 20 minutos estão associados a uma melhor qualidade das raízes.

A Batata também tem sido estudada por Kozempel (1988) através de um modelo de cozimento, visando à determinação da gelatinização e da taxa de degradação do amido, obtendo valores de 43 kcal/mol de ativação energética independente da textura e da variedade das batatas. Pravisani et al. (1985) determinaram a energia de ativação em 58,2 kcal/mol para batatas.

Batatas e mandiocas são semelhantes no modo de estocar as substâncias amiláceas, mas a mandioca acumula mais matéria seca, em média de 38% (NGEVE, 2003), versus 20% em média para as batatas (HARADA et al., 1985). Safo-Kantanka e Owusu-Nipah (1992), estudando a qualidade do cozimento de 13 cultivares, em três colheitas anuais sucessivas determinaram que há um fator de qualidade aceitável de cozimento de raízes tuberosas quando associadas a um alto conteúdo de matéria seca, grânulos de amido grandes e com a baixa coesão das células.

Os amidos provenientes da mandioca são redondos, ovais, truncados, poligonais e cilíndricos de acordo com Rickard et al. (1991) e foram observados tamanhos de grânulos de 5 a 35 μm com média de 25 μm. A densidade é característica importante

principalmente para os processos de extração e foram observados valores para amido de mandioca a 30°C de 1,4857 g/ml (CIACCO e D'APPOLONIO, 1977).

Eggleston e Asiedu (1994) encontraram uma correlação entre a força de compressão das raízes cozidas de mandioca com a adesão intercelular, mas concluem que muitos outros fatores estão envolvidos na qualidade de cozimento das raízes. Outros estudos, não focados especificamente na temperatura de gelatinização, adotam tempos fixos de 20 minutos para o cozimento de qualquer variedade de mandioca.

2.2.13 Indicativos de eficiência energética da mandioca e de repercussões ambientais

De acordo com Leng et al. (2007), há muitas controvérsias quanto à produção de combustíveis a partir de biomassas. Alguns pesquisadores defendem seu uso por favorecer o equilíbrio ambiental. Outros, ao contrário, afirmam que é necessária mais energia para produzir o etanol do que a energia contida no etanol produzido. Frente aos dois argumentos muitos estudos foram desenvolvidos na última década. Hodge (2002) insiste que a iniciativa de usar o etanol misturado à gasolina, nos Estados Unidos, não deve ser expandido, pois aumenta as emissões de óxidos para a atmosfera.

Do mesmo modo, Pimentel (2003) argumenta que o combustível baseado em cereais, no caso o milho, degrada o ambiente nativo e contribui para poluição da água e poluição atmosférica. Para ele, a energia utilizada para produzir um galão de etanol é 29% maior do que a energia contida em um galão de etanol. Chambers et al. (1979) indicam que a eficiência energética depende de muitos fatores, tais como: as práticas de conservação de energia na lavoura; a tecnologia industrial de conservação da energia; e a colheita e utilização dos resíduos.

Entretanto, estudos realizados por Shapouri et al. (2002) concluíram que a produção de etanol de grãos de cereais tem um saldo positivo, apresentando uma proporção de 1,34. Segundo Kim (2002) e Kim (2006) também concluíram que o etanol combustível produzido a partir de grãos de cereal produziu um saldo positivo de energia. As informações mais recentes da literatura mostram que há um consenso entre alguns pesquisadores de que o etanol produzido de biomassas possui um saldo ligeiramente positivo de energia (FARRELL et al., 2006 e VON BLOTTNITZ et al., 2006).

2.3. A Cultura da Cana-de-açúcar

2.3.1 Botânica

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é um vegetal da família das gramíneas que é cultivada desde a antiguidade (LEÃO, 2002). Pertence ao Reino Plantae; Divisão Magnoliophvta; Classe Liliopsida; Ordem Cyperales; Família Poaceae, com as quais se relaciona com a forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos, e as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta; Gênero Saccharum; Espécies: *Saccharum officinarum, S. spontaneum; S. robustum; S. officinarum; S. barberi; S. sinense.*

2.3.2 Características da planta

A cana-de-açúcar é uma planta do tipo colmo cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios; a altura varia de 1,0 a 5,0 m; e o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 cm até 5,0 cm. A folha da cana-de-açúcar, depois de desenvolvida, consiste de uma lâmina e uma bainha envolvendo o colmo, distribuindo-se de forma alternada e oposta (BLACKBURN, 1984).

O sistema radicular da cana-de-açúcar pode atingir até 5 m de profundidade. Sampaio et al. (1987) constataram que 75% das raízes encontravam-se nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e que 55% delas estavam concentradas num raio de 30 cm da touceira.

A maturação da cana-de-açúcar ocorre da base para o ápice do colmo. Para determinação do ponto de maturação no campo, utiliza-se o refratômetro de campo, sendo depois analisado no laboratório. Para atingir um bom rendimento, deve haver uma alta produtividade e um elevado teor de sacarose na época da colheita. Através do refratômetro consegue-se a porcentagem de sólidos solúveis do caldo (Brix), este, está correlacionado ao teor de sacarose da cana-de-açúcar.

2.3.3 História e origem da cana-de-açúcar

Segundo Doorembos e Kassan (1979), esta cultura é originária da Ásia e parece ter sido conhecida pelo homem há cerca de três mil anos. Uma das prováveis origens da cana-de-açúcar é a Nova Guiné, local em que o homem teve o primeiro contato com a

espécie. De lá, a planta foi para a Índia. No "Atharvaveda", o livro dos Vedas, há um trecho dedicado à cana-de-açúcar: "esta planta brotou do mel; com mel a arrancamos; nasceu a doçura". A palavra "açúcar" é derivada de "shakkar" ou açúcar em sânscrito, antiga língua da Índia.

É certamente o termo do Sânscrito "sarkara" que deu origem a todas as versões da palavra açúcar nas línguas indo-européias: sukkar em árabe, saccharum em latim, zucchero em italiano, seker em turco, zucker em alemão, sugar em inglês.

Arbex (2002) faz uma excelente revisão da trajetória da cultura da cana-de-açúcar até sua entrada no Brasil. Um dos propósitos para a descoberta de novas terras, na época das Grandes Navegações, era a falta de áreas cultiváveis na Europa em que pudessem prosperar espécies de plantas como a cana-de-açúcar, cujo produto, o açúcar, era escasso e caro no Velho Continente.

Nessa época a Europa rumava para uma nova fase histórica, o Renascimento, com a ascensão do comércio que era feito por vias marítimas, pois os senhores feudais cobravam altos tributos pelos comboios que passavam pelas suas terras ou, simplesmente, incentivavam o saque de mercadorias. Portugal, por sua posição geográfica, era passagem obrigatória para as naus carregadas de mercadorias. Isso estimulou a introdução da cana-de-açúcar na Ilha da Madeira (Portugal), que foi o laboratório para a cultura e para a produção de açúcar que mais tarde se expandiria com a descoberta da América.

Portugal plantava cana-de-açúcar nas ilhas de Cabo Verde, Açores e Madeira, mas ainda assim eram poucas as terras apropriadas para a cultura. Com a descoberta do Brasil, a cana-de-açúcar foi trazida para a América e as primeiras mudas chegaram em 1526 na expedição de Martim Afonso de Souza, que deu início ao seu cultivo na Capitania de São Vicente. Lá, ele próprio construiu o primeiro engenho de açúcar. Mas foi no Nordeste, principalmente nas Capitanias de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram.

A nova planta espalhou-se no solo fértil, com a ajuda do clima tropical quente e úmido e da mão-de-obra escrava trazida da África. O Brasil ainda colônia, enriqueceu Portugal e espalhou o açúcar brasileiro por toda a Europa (LIMA, 2006). Esta, enriquecida pelo ouro e prata do Novo Mundo, passou a ser grande consumidora de açúcar. As regiões

produtoras, especialmente as cidades de Salvador e Olinda prosperaram rapidamente. Portugal e Holanda faziam a comercialização do produto.

A cana-de-açúcar foi e continua sendo responsável pela história do Brasil. No ano de 1578, Portugal foi anexado pela Espanha. O rei espanhol Felipe II, católico fervoroso, se opunha duramente à Holanda e à Inglaterra, países protestantes. O comércio da Holanda entrou em colapso e, por esse motivo, em 1630 os holandeses invadiram o Brasil permanecendo em Pernambuco até 1654, quando foram expulsos. A necessidade atual de reduzir as emissões de CO_2 para a atmosfera reedita a afinidade do Brasil com esse cultivo.

2.3.4 Composição da cana-de-açúcar

O colmo é o fruto agrícola da cana-de-açúcar em cujos vacúolos das células a sacarose se acumula no período de maturação.

a) Composição da cana-de-açúcar após-colheita

Açúcar: 12-18%; fibra: 12-14% (sem computar os resíduos de colheita); cera 0,1-0,3%; cinza: 2-3%.

b) Composição do bagaço da cana-de-açúcar

Lignocelulósicos 45%; sólidos insolúveis 2-3%; sólidos solúveis 2-3%; umidade 50%.

c) Composição química dos resíduos da colheita (palha)

Celulose 45,1%; hemicelulose 25,6%; lignina 12,7%; outras matérias orgânicas 4,3%; cinza 8,0%, umidade 9,7%.

2.3.5 Usos da cana-de-açúcar

A importância da cana de açúcar se encontra na sua múltipla utilização, pois pode ser utilizada "in natura", através de forragem, para alimentação animal, ou como base para a fabricação de aguardente, rapadura, melado, açúcar e álcool.

2.3.6 Pesquisas com cana-de-açúcar e a modernização do setor

Desde a 2ª Guerra Mundial, os esforços da indústria açucareira brasileira se concentraram na multiplicação da capacidade produtiva. A busca por novas variedades de cana-de-açúcar mais produtivas e mais resistentes às pragas e às doenças, iniciada em 1926, por ocasião da infestação dos canaviais pelo mosaico, foi também

intensificada e teve início o controle biológico de pragas. Entidades como Coopersucar, o IAC (Instituto Agronômico de Campinas) e o IAA-Planalçucar foram responsáveis por esses avanços. Esse período de renovação culminou com a elevação dos preços do açúcar no mercado internacional que atingiram uma marca histórica.

Com os recursos decorrentes desse aumento de preço foi criado pelo IAA o Funproçucar que financiou em 1973 a modernização das indústrias e a maioria das usinas foram totalmente remodeladas. Esses fatos foram de importância fundamental para o próprio Brasil enfrentar as crises do petróleo que se seguiram a partir de 1973, motivo para o surgimento do Proálcool. Esse programa de incentivo à produção e uso do álcool como combustível, em substituição à gasolina, criado em 1975, alavancou o desenvolvimento de novas regiões produtoras como o Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Segundo Dias (1997), a partir de 1974, o Brasil investiu na modernização da infra-estrutura industrial, com implantação de equipamentos em várias destilarias anexas às usinas, criando condições para que o país passasse a produzir álcool como combustível, tornando-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Em menos de cinco anos a produção de pouco mais de 300 milhões de litros ultrapassou a cifra de 11 bilhões de litros, caracterizando o Proálcool como o maior programa de energia renovável já estabelecido em termos mundiais e o etanol é a atual vedete brasileira, sendo produzido a custos mais baixos do planeta.

2.3.7 Variedades de cana-de-açúcar

No Brasil, as variedades de cana-de-açúcar são produzidas principalmente nos três principais programas de melhoramento genético: o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), a Coopersucar e o programa anteriormente conduzido pelo Planalsucar (IAA), que atualmente é executado pela UFSCar. Tanto no Brasil como em outros países produtores de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*), variedades têm sido continuamente desenvolvidas e testadas com os objetivos de aumentar a produtividade, obter uma maior resistência às pragas e doenças e uma melhor adaptação às variações de clima, tipos de solos, técnicas de corte ou manejo. Esta cultura possibilita a produção de açúcar e de álcool, sendo importante fonte de energia renovável, aspecto relevante quanto à questão de sustentabilidade ambiental (GALVÃO et al., 2005). Ainda de acordo com o mesmo autor, o Instituto

Agronômico de Campinas reestruturou as suas ações de pesquisa na área de cana-de-açúcar a partir do início da década passada. A partir do final de 1994, foi estabelecido junto a empresas do setor sucroalcooleiro um projeto de pesquisa na área de melhoramento genético com a finalidade de estruturar uma grande rede de desenvolvimento e avaliação de novas variedades de cana-de-açúcar. Atualmente mais de 40 empresas estão vinculadas a esse projeto. Como fruto desse esforço integrado, o IAC lançou nesses últimos dois anos oito novas variedades de cana-de-açúcar, dentre as mais recentes: IACSP93-3046, IACSP94-2094, IACSP94-2101 e IACSP94-4004.

Para identificar variedades em áreas de cana-de-açúcar utiliza-se o sensoriamento remoto, que têm abordado questões importantes como classificação e mapeamento (TARDIN et al., 1992), manejo (WIEGAND et al., 1996; YANG et al., 1997; FIORIO et al., 2000) e estimativa de produtividade (RUDORFF e BATISTA, 1990). A maior parte das pesquisas para testar a discriminação de variedades de cana-de-açúcar com sensoriamento remoto tem utilizado dados multiespectrais. Por exemplo, no Brasil, Joaquim (1998) e Fortes (2003) utilizaram dados dos sensores TM (Thematic Mapper)/Landsat-5 e ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus)/Landsat-7 para a identificação de variedades de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

O sensor hiperespectral Hyperion (242 bandas), a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1), lançado em 1999, oferece a possibilidade de testar o uso desta tecnologia para a diferenciação de variedades de cana-de-açúcar. O uso deste instrumento (ou de similares) possibilita a aquisição de dados com resolução espectral suficiente para reconstituir bandas de absorção nos espectros dos pixels relacionadas com conteúdos de clorofila, água nas folhas e de lignina/celulose, que podem ser parâmetros importantes na diferenciação das variedades de cana (GALVÃO et al., 2005).

Segundo Apan et al. (2004), índices que utilizam bandas estreitas, propostos a partir dos dados hiperespectrais coletados pelo sensor Hyperion, podem ser utilizados para a detecção de doenças em canaviais da Austrália. Para tal finalidade, os autores destacaram a importância do uso de dados do infravermelho de ondas curtas (1600nm) na formulação dos índices. Outra fase da experimentação inicia-se após a seleção de clones, que posteriormente participarão dos ensaios regionais, juntamente com variedades-padrão. Os

melhores clones são selecionados para a fase seguinte, denominada ensaios estaduais. Só então após anos de experimentação, um clone de bom desempenho pode tornar-se variedade.

2.3.8 Cana-de-açúcar transgênica

Algumas empresas brasileiras estão se preparando para lançar variedades comerciais de cana-de-açúcar geneticamente modificadas nos próximos 4 ou 5 anos. O Centro de Tecnologia da Cana (CTC), em Piracicaba, espera que o governo aprove testes experimentais de campo dos híbridos de cana do centro com níveis entre 10% e 15% de sacarose mais elevados do que os congêneres não-transgênicos. A partir daí em diante, provavelmente serão necessários de quatro a cinco anos para concluir todos os testes de campo bem como mais testes com o consumidor, para depois obter liberação comercial. A companhia de biotecnologia Allelyx, subsidiária do Grupo Votorantim pretende também lançar uma variedade de cana transgênica e deve chegar ao mercado até 2010. Essa tecnologia é decisiva para o Brasil continuar como principal exportador mundial de açúcar e de etanol no futuro. O Brasil já legalizou sementes de soja e algodão transgênicas para plantio comercial, mas os híbridos de cana transgênica estão levando mais tempo para se desenvolver no mercado doméstico e global por causa da complexidade do genoma da cana-de-açúcar. Serão necessários cerca de 10 anos, usando métodos tradicionais de reprodução, para testar e desenvolver variedades de cana com as características desejadas. A engenharia genética possibilita que as transgênicas sejam desenvolvidas na metade do tempo (DI CIERO, 2008).

2.3.9 Cultivo da cana-de-açúcar

Existem duas épocas de plantio para a região Centro-Sul, de setembro a outubro e de janeiro a março. De setembro a outubro é conhecido como plantio de “cana de ano” e não é a época mais recomendada, sendo indicada em casos de necessidade urgente de matéria-prima, quer por recente instalação ou ampliação do setor industrial, quer por comprometimento de safra devido à ocorrência de adversidade climática. Plantios efetuados nessa época propiciam menor produtividade agrícola e expõem a lavoura à maior incidência de ervas daninhas, pragas, assoreamento dos sulcos e retardam a próxima colheita (LIMA, 2006).

O plantio da cana de "ano e meio" é realizado de janeiro a março, sendo o período mais recomendado tecnicamente. Além de não apresentar os inconvenientes

da outra época, permite um melhor aproveitamento do terreno com o plantio de outras culturas. Em regiões quentes, como o oeste do Estado de São Paulo, essa época pode ser estendida para os meses subseqüentes, desde que haja umidade suficiente.

Na “cana de ano” o ponto culminante de desenvolvimento é de novembro a abril, logo após decresce por causa dos fatores ligados à temperatura e ao clima. A “cana de ano e meio” possui um percentual de crescimento limitado de maio a setembro em função da temperatura e do clima, aumentando o período de desenvolvimento de outubro a abril (CASTRO, 1999).

As áreas de plantio da cana-de-açúcar são divididas em talhões, zonas e setores. O espaçamento entre os sulcos de plantio é feito de acordo com o tipo de sistema de colheita a ser realizado. De acordo com Lima (2006), em colheita mecanizada, sem queima prévia, o espaçamento médio de plantio é de 1,40 m, a profundidade de 20 a 25 cm e a largura é proporcionada pela abertura das asas do sulcador num ângulo de 45º, com pequenas variações para mais ou para menos, dependendo da textura do solo.

2.3.9.1 Cultivo da cana-de-açúcar no mundo

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido por Índia, Tailândia e Austrália (UNICA, 2005), e é responsável por 45% da produção mundial de etanol combustível. A cultura da cana-de-açúcar permitiu uma produção nacional de etanol de 14,5 bilhões de litros em 2005, dos quais mais de 2 bilhões foram destinados à exportação. A área dedicada a esse cultivo abrange 6,2 milhões de hectares, 1,7% da área agriculturável e 18,3% da área utilizada para culturas anuais (IBGE, 2005a).

Nos EUA, grande produtor de etanol, o plantio está restrito a poucas regiões. A cana-de-açúcar foi a base econômica de Cuba, devido a sua produção ter venda garantida para a União Soviética, a preços artificialmente altos. Com o colapso do regime socialista soviético, a produção da cana-de-açúcar cubana tornou-se inviável. Também é o principal produto de exportação em países do Caribe como a Jamáica, Barbados entre outros. Vários países da África, principalmente a África do Sul, Moçambique e a ilha Maurício são igualmente importantes produtores de açúcar.

2.3.9.2 Cultivo da cana-de-açúcar no Brasil

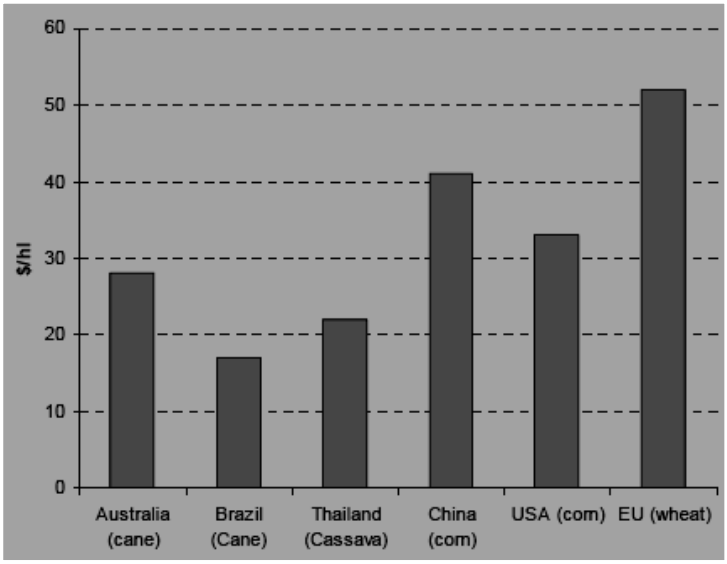

Figura 2. Comparação de custos para produção do etanol na Austrália, no Brasil, na Tailândia, na China, na USA e na União Européia
Fonte: Gonçalves (2005)

No Brasil, a produção e processamento de cana-de-açúcar estão exclusivamente nas mãos do setor privado. O setor canavieiro alcança os menores custos de produção do mundo, tanto de açúcar, como de álcool, despontando como altamente competitivo no mercado internacional (GONÇALVES, 2005). Esse avanço na produtividade resultou em competitividade para o etanol produzido no Brasil (Figura 2).

No Brasil existem 350 indústrias de açúcar e álcool que geram 1.000.000 de empregos diretos e 300.000 indiretos (BANCO, 2006). Desse total, 511.000 trabalham na produção agrícola, sobretudo no corte de cana, tendo em vista que cerca de 80% da safra brasileira é manual (UNICA, 2005). Além disso, há aproximadamente 60.000 fornecedores independentes com propriedades menores de 150 hectares em média, que vendem a cana para a indústria e contribuem com 27% da produção total.

É tradição a produção de cana-de-açúcar no Brasil, devido à farta extensão de terras, aos variados tipos de solos e à influência do clima diferenciado nas regiões, o que promove diferentes ambientes para o cultivo da mesma. De acordo com Nascimento

(1999), a cana-de-açúcar ocupa papel importante no panorama agrário desde o Brasil Colônia, podendo gerar vários produtos, como a cachaça, o álcool, o açúcar etc.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, possuindo o maior potencial e expansão de área plantada, sendo mais cultivada nas regiões tropicais e subtropicais (IBGE, 2005b; UNICA, 2005b). É ainda o maior produtor de açúcar do mundo e o segundo mais importante produtor de etanol, depois dos Estados Unidos, liderando as exportações dos dois produtos.

A extensão de terra cultivada com cana-de-açúcar no Brasil aumentou de 5,625 milhões de hectares, na safra 2004/2005, para 5,877 milhões de hectares, na safra 2005/2006. A área plantada cresceu 4,29% e a produção aumentou 9,61%. As condições climáticas brasileiras permitem dois momentos de safra: no Nordeste acontece nos meses de outubro a março e no Sudeste, Sul e Centro-oeste nos meses de abril a agosto, de maneira que o Brasil tem condições de produzir açúcar e etanol durante o ano todo.

Nos últimos anos, o crescimento na produção de cana-de-açúcar no Brasil vem ocorrendo devido a vários fatos históricos e econômicos. O principal deles é a crescente produção nacional de carros bicombustíveis e o aumento da venda ao mercado externo, (ANFAVEA, 2004).

2.3.10 Colheita da cana-de-açúcar

Em todos os países produtores de cana-de-açúcar, a colheita manual foi uma prática secular. Para facilitar o corte e diminuir os acidentes de trabalho com os cortadores, procedia-se a queima dos canaviais, antes da colheita (VEIGA FILHO, 1998). Entretanto, devido à escassez de mão-de-obra ou o aumento na relação do salário, mais a contribuição social sobre o preço médio da tonelada da cana, a colheita passou a ser mecanizada (FAUCONNIER, 1983).

No Brasil, mais de 80% da colheita da cana-de-açúcar é realizada manualmente. O corte é precedido da queima da palha da planta, o que torna o trabalho mais seguro e rentável para o trabalhador. De acordo com Lima (2006), os rendimentos máximos obtidos para as diversas modalidades resultaram em 12,5 toneladas/homem/dia para a colheita manual queimada; 6,5 toneladas/homem/dia para colheita manual não queimada; 48

toneladas/hora/máquina para colheita queimada e mecanizada e 40 toneladas/hora/máquina para colheita de cana crua mecanizada.

Em São Paulo, a safra atinge na média 85 toneladas por hectare e, nos fornecedores independentes, 68 toneladas por hectare. Em Minas Gerais a média é de 73 toneladas por hectare, em Alagoas 63 toneladas por hectare e em Pernambuco 51 toneladas por hectare. (ORPLANA 2006). Dezessete estados brasileiros produzem cana-de-açúcar, mas em oito deles a safra é superior a seis milhões de toneladas, 90% do total brasileiro.

No sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem a queima obtêm-se grande quantidade de folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo, que são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal, denominada palhiço ou palhada (LIMA, 2006).

A colheita da cana, sempre que possível deve antecipar o fim da safra, por ser um período bastante chuvoso, o que dificulta o transporte da matéria-prima e faz cair o rendimento industrial.

2.3.11 Energia fóssil envolvida no processo agrícola e industrial da cana-de-açúcar

O primeiro balanço energético calculado para cana-de-açúcar em condições brasileiras foi publicado por Silva e Serra (1978) antes da produção de veículos que usavam etanol hidratado. Esse estudo foi a base de um trabalho mais atualizado, publicado por Boddey (1993), mas os dados aqui apresentados derivaram principalmente do trabalho de Machado (1998). Atualmente a produtividade média de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo é de 85 Mg ha^{-1} (84 toneladas métricas por herctare), e a produção de etanol de cana é próximo de 86 litros/Mg de cana fresca. Utilizando esses valores e um valor calorífico de etanol de 22,3 MJ L^{-1}, a produção total de energia no etanol soma 161,1 GJ ha^{-1}. Na Tabela 1 observa-se o balanço energético para a produção de etanol da cana-de-açúcar sob condições brasileiras.

Tabela 1. Balanço energético para a produção de etanol da cana-de-açúcar sob condições brasileiras

	ha^{-1} ano^{-1}
Rendimento (colmos de cana)	84,0 Mg
Produção de etanol	7.224 L
Ingressos de Energia Fóssil	**GJ**
1. Máquinas agrícolas e transporte à usina	5,62
2. Fertilizantes/pesticidas	7,23
3. Mudas/toletes	0,48
4. Equipamentos e prédios	6,03
5. Insumos na usina (1)	0,62
6. Total	**19,98**
Energia produzida no etanol	**161,10 GJ**
Balanço energético= Energia no combustível / Energia fóssil investida	**8,06**

Fonte: Urquiaga et al. 2005.

(1) Reagentes químicos utilizados no processamento da cana e lubrificantes

Os primeiros trabalhos sobre balanço energético da produção de etanol da cana-de-açúcar foram publicados no exterior nos anos 70. Os resultados sempre foram muito baixos ou negativos devido ao alto consumo de energia fóssil no processamento do mosto e na destilação do etanol na usina. Entretanto, poucos anos após o começo do Proálcool, as usinas conseguiram substituir toda essa energia fóssil, correspondente a mais de 50% daquela produzida no etanol (BODDEY, 1993), pelo uso do bagaço da cana. Atualmente muitas usinas com excesso de bagaço estão gerando eletricidade que é vendida para a rede estadual. Se esta energia excedente for incluída no balanço energético do etanol, o valor do balanço sobe para mais de 10 para 1 (MACHADO, 1998).

O balanço energético positivo da produção de etanol de cana-de-açúcar é de 8,06 (Tabela 1). Entre outras coisas, isso significa dizer que para produzir 1 GJ de energia, nessa forma, são necessários 0,124 GJ de energia fóssil, em comparação com 0,81 GJ de energia fóssil para produzir 1 GJ de energia na forma de etanol do milho (URQUIAGA et al. 2005).

2.3.12 Recursos ambientais envolvidos com o cultivo da cana-de-açúcar

2.3.12.1 Concepções favoráveis à manutenção dos restos culturais da cana-de-açúcar no agroecossistema de cultivo

A exemplo de Patzek (2004), NREL (2002), Sheehan et al. (2004), Deluga et al. (2004), Mello Filho e Richetti (1997), que por várias razões defendem a permanência da palha de milho no agroecossistema de cultivo, encontramos vários autores relatando as vantagens da permanência do palhiço da cana-de-açúcar no local de colheita.

Assim, de acordo com Lima (2006), a permanência do palhiço no local de colheita da cana crua traz uma serie de vantagens: mantém a umidade do solo; controla a erosão, pela diminuição do impacto das gotas de chuva sobre a superfície; aumenta a matéria orgânica no solo, enriquecendo-o; melhora a qualidade da matéria-prima entregue para industrialização; reduz da poluição atmosférica, entre outras.

Em regiões canavieiras do Brasil e do mundo, onde a precipitação pluvial é pequena ou irregular, a presença do palhiço sobre o solo também tem colaborado para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, principalmente por aumentar a penetração da água no solo e diminuir a evaporação edáfica (BALL-COELHO et al., 1992).

A produtividade média de cana-de-açúcar no Brasil, compreendendo folhas secas e ponteiros, tem oscilado em torno de 80 toneladas de matéria natural por hectare. De acordo com Oliveira et al (2001), adotando-se o manejo apropriado de calagem e de adubação pode-se alcançar produtividades superiores a 150 toneladas de matéria natural por hectare.

Sobre esse assunto, Ripoli et al. (1998) afirmaram que se o palhiço não fosse queimado, poderia melhorar as condições do solo, pois é uma boa fonte de matéria orgânica e nitrogênio. De acordo com (Malavolta et al. 1989), o nitrogênio é importante na nutrição e na fisiologia da cana-de-açúcar, pois dentre outras funções é constituinte de todos os aminoácidos, proteínas, enzimas e ácidos nucléicos. O nitrogênio, juntamente com o potássio são os elementos mais exigidos pela cultura (ORLANDO FILHO et al., 1980).

Estudos com biomassa, resultante da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sem a utilização do fogo, conduzidos por Abramo Filho et al. (1993), constataram uma camada de 8 a 10 cm de palhiço distribuído sobre a área de cultivo fazendo com que a temperatura do solo fosse mais baixa que a do ambiente. Resultados semelhantes foram

obtidos por Timm (2002), o que, em estudo sobre o efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo, pôde reduzir as temperaturas médias na superfície do solo na ordem de 7 ºC.

Quanto às impurezas, um estudo realizado por Abramo Filho et al. (1993) constatou que junto aos resíduos da colheita mecanizada é transportado para a indústria 6,92% de terra, o que pode danificar os equipamentos e tornar o custo para o emprego do resíduo inviável.

Em pesquisas relacionadas ao efeito do palhiço da cana-de-açúcar sobre o combate de plantas indesejáveis economicamente, Manechini (2000) concluiu que se for deixado acima de 66% do resíduo da cana-de-açúcar no campo, há um controle dessas plantas com eficiência acima de 90%, competindo com herbicida empregado na produção. Para Lorenzi (1986), o controle de plantas invasoras chega representar 35 a 45% do custo de implantação e condução de um canavial. Para Arevalo e Bertoncini (1999), os resíduos da colheita chegam a controlar mais de 50% do mato-espécies que competem com a cultura, devido aos efeitos físicos e bioquímicos do palhiço sobre o mato.

Sparoveck et al. (1997) reconhece que a cana-de-açúcar tem grande importância econômica e social para o Estado de São Paulo, mas chama atenção aos impactos ambientais associados a essa atividade: elevadas emissões de gases tóxicos à atmosfera, devido à queima que antecede a colheita; degradação dos solos; poluição de mananciais e centros urbanos.

Delgado (1985) considera que a palha poderia ser incorporada ao solo aumentando seu potencial de matéria orgânica. Bassinelo at al. (s.d.), a exemplo de Ripoli at al. (1998), Lima (2006) e Manechini (2000), comentam que sem a queima prévia da palha mantém-se a umidade do solo; controla-se as plantas indesejáveis, diminuindo ou mesmo eliminando o uso de herbicidas; melhora-se o controle da erosão, devido à proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva; aumenta a matéria orgânica do solo, pela adoção da prática durante vários anos; reduz a população de nematóides nocivos à cultura, pelo acréscimo de nematóides predadores e pela presença de outros microrganismos atraídos pelo aumento da matéria orgânica do solo; melhora a qualidade da matéria-prima entregue à indústria; reduz a poluição atmosférica, entre outras vantagens.

Em diversas pesquisas avaliaram-se os efeitos do cultivo e das práticas de manejo nas propriedades físicas, químicas, e biológicas dos solos (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990; SILVA e MIELNICZUK, 1998). Mudanças nessas propriedades são, em grande parte, conseqüência de alterações na estrutura do solo (DREES, 1994).

O uso agrícola intensivo empregando práticas tradicionais de manejo imprimiu a necessidade de uma nova abordagem sobre fertilidade do solo (efeito químico), uma vez que os efeitos físicos acabam assumindo uma grande importância, decorrentes dessas práticas de manejo (TAVARES FILHO, 1999). A erosão do solo pode ser reflexo em superfície, de modificações que ocorrem em profundidade, em geral de ordem estrutural (RUELLAN, 1988). Ressalta ainda a necessidade de se atentar ao fato de que a conservação do solo depende mais de atributos morfológicos e biológicos, do que de atributos químicos.

No que diz respeito à saúde humana, Kirchhoff (1991), a exemplo de Laure (1991), Franco (1992) e Bohm (1998), estudando as concentrações de ozônio e do monóxido de carbono na atmosfera por ocasião da queima da palha, nas regiões canavieiras, nos períodos de safra e de entressafra, constataram que na safra a concentração de ozônio aumentou de 30ppb para 80ppb e a concentração do monóxido de carbono aumentou de 100ppb para 600ppb. Os autores afirmam que o ozônio na baixa atmosfera prejudica o crescimento das plantas e o sistema respiratório dos animais e o monóxido é precursor de doenças respiratórias e complicações cardíacas.

Na ótica ambiental, Mattos e Mattos (2001) relatam que os recursos naturais têm se tornado cada vez mais escassos, devendo se considerar sua possível exaustão. Com essa ameaça, buscam-se alternativas para que o desenvolvimento sócio-econômico seja sustentável. De acordo com os autores, devem ser consideradas as externalidades ambientais do processo produtivo e a necessidade de internalização econômica desses efeitos. Quando esse processo de produção abrange uma grande área do país, como é o caso do complexo sucroalcooleiro, os problemas ocasionados pela queima do canavial se tornam fundamentais.

Para Figueiredo (2000), a matéria orgânica tem sido a chave da sustentabilidade, devido aos benefícios nas propriedades físicas e químicas dos solos. Segundo ele, a degradação de um material orgânico poderá modificar a estrutura, a capacidade de retenção de água, a consistência, a massa específica, a porosidade, a aeração e a condutividade elétrica dos mesmos. Além dessas melhorias, Orlando Filho et al. (1998) relatam a

manutenção das atividades biológicas do solo. De acordo com Ripoli e Vila Nova (1992), trabalhos desenvolvidos pelo Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, o palhiço equivale a 32%, em média, de toda a biomassa aérea produzida por um canavial.

2.3.12.2 Concepções favoráveis ao aproveitamento dos restos culturais da cana-de-açúcar para produção de energia

As novas alternativas que visam produzir o etanol das plantas inteiras da cana-de-açúcar, aproveitando todo o material celulósico dos restos culturais, para melhorar o balanço energético do processo, a exemplo do milho nos Estados Unidos, também têm seus defensores e tem sido objeto de muitos estudos.

Estudos realizados pela HSPA (1983), Hawaiian Sugar planters Association, determinaram que, sem a queima do canavial, permanecem no solo como resíduos de colheita de cana-de-açúcar os ponteiros, as folhas e outros materiais, a partir dos quais seria possível produzir energia elétrica, caso sejam desenvolvidos métodos eficientes de recolhimento e estocagem do material.

A massa de palhiço da cana crua foi determinada por Ripoli et al. (1990), que constataram valores médios de 9,7 ton.ha^{-1}, com poder calorífico útil de 2.280 kcal Kg^{-1}. De acordo com os autores, com uma produtividade agrícola média de 70 t ha^{-1} de colmos e com uma produção industrial de etanol de 75 l t^{-1}, pode-se obter um equivalente energético de 20.877Mcal referentes ao etanol, 31.326 Mcal referentes ao bagaço e 21.058 Mcal referentes ao palhiço.

Em estudos realizados por Molina Jr. et al. (1995), com a variedade SP 70-6163, no município de Piracicaba, estado de São Paulo, concluíram que uma produtividade agrícola de 79,52 t ha^{-1} produziu do álcool 23.921Mcal ha^{-1} de energia bruta; do bagaço 35.591 Mcal ha^{-1} de energia bruta; e dos resíduos da colheita 62.679 Mcal ha^{-1} de energia bruta.

Leite e Pinto (1983) estimaram que uma tonelada da cana-de-açúcar esmagada fornece 250 kg de bagaço com 50% de umidade e um poder calorífico inferior (PCI) de 1.790 kcal kg^{-1}. Com umidade de 20% o PCI é de 3.244 kcal kg^{-1}. Em estudos semelhantes realizados por Stupiello (1987), uma tonelada de cana-de-açúcar esmagada produz 280 kg de

bagaço com 50% de umidade. A Copersucar (1998), com a mesma umidade estimou em 260 kg.

De acordo com Alvarez (1998), diferentes regiões do Centro-Sul brasileiro onde não mais se pratica a queima prévia da palhada, por ocasião da colheita da cana-de-açúcar, têm gerado um volumoso acúmulo de biomassa residual no campo sem finalidade objetiva. Essas quantificações foram verificadas por Ripoli (2002), afirmando que, dependendo das condições de campo (variedade, idade, número de cortes e condições edafoclimáticas), a cultura canavieira pode gerar biomassas na ordem de 15 a 30% em peso da parte aérea das plantas. Em outro estudo, o mesmo pesquisador relata que o poder calorífico desse material, na ordem de 1.896 kcal kg^{-1}, é equivalente ao da madeira e superior ao próprio bagaço da cana-de-açúcar, o que o torna não mais um material descartável, mas um importante produto para agregação de valor no setor sucroalcooleiro. Para Ripoli e Paranhos (1997), a razão principal da queima da cana-de-açúcar é a necessidade de promover a limpeza parcial do canavial visando facilitar a operação de corte (manual ou mecânico). Abandonando-se essa prática, o palhiço (ponteiros, folhas verdes, palhas, frações de colmos e terra agregada a esses constituintes) remanescente sobre o terreno e decorrente da colheita mecanizada pode ser utilizado para co-geração de energia elétrica nas usinas e destilarias (RIPOLI e RIPOLI, 1995).

Outras desvantagens com a colheita da cana crua (sem o uso do fogo) apontadas por Delgado (1985), Furlani Neto (1994) e Ripoli (2002), citados por Lima (2006) são o aumento da incidência de animais peçonhentos (cobra, aranha, etc) e acidentes de trabalho; dificuldade de mão-de-obra disponível para adoção da técnica e resistência do próprio cortador em executá-la; menor rendimento do corte, tanto manual como mecanizado, implicando em menor ganho do trabalhador e maiores custos para o produtor; aumento das impurezas vegetais e minerais da matéria-prima; tendência em cortar a cana em um nível mais elevado, provocando perdas de matéria-prima e prejudicando a brotação da soqueira; maior foco de infestação para alojamento de pragas; aumento na necessidade de transporte da cana-de-açúcar pela empresa; aumento do teor de fibras e conseqüente redução na extração de caldo pelas moendas; diminuição da velocidade de trabalho das colhedeiras, em relação à cana queimada, com maior consumo operacional e custo final.

Além dos inconvenientes citados, Castro (2001) alerta para o perigo de incêndios no palhiço deixado no campo e para as alterações necessárias em equipamentos, o que gera maior custo com geração de novas tecnologias. De outro modo, afirma que se o palhiço for aproveitado pelas usinas, aumentará o potencial de co-geração de eletricidade em até duas vezes. Coelho (1999), também pensa do mesmo modo. Segundo ele, as usinas de açúcar e álcool têm utilizado uma enorme quantidade de biomassa, sendo 59% destinada para fins de co-geração de energia.

Para alguns pesquisadores, o setor sucroalcooleiro possui um grande potencial no que se refere à oferta de energia elétrica através do processo de co-geração. Walter (1994) estima que se obtém 20 vezes mais do que a energia elétrica demandada. Para Waack (1998), a eletricidade obtida através do processo de co-geração a partir do bagaço de cana-de-açúcar apresenta vantagens em relação aos demais derivados de petróleo, pois diminui os poluentes lançados na atmosfera, principalmente o CO2 causador do efeito estufa.

2.4 A Cultura do Milho

2.4.1 Botânica

Dentro da classificação botânica, o milho pertence à ordem *Gramineae*, familia *Grimanaceae*, sub-famflia *Panicoideae*, tribu *Maydeae*, gênero *Zea*, espécie *Zea mays*. Comumente, o termo se refere à sua semente, um cereal de altas qualidades nutritivas. O Gênero *Zea* é considerado monotípico e constituído por uma única espécie, ou seja, *Zea mays L*. (do latim miliu) s.m.

2.4.2 Características da planta

O milho, assim como outras gramíneas (Gramineae, Poaceae) possui uma haste (colmo) cilíndrica com nós compostos. Cada nó abaixo do solo produz raízes e os nós ao nível do solo ou imediatamente acima, podem produzir perfilhos e raízes adventícias (esporões). As folhas e ramificações, que podem permanecer no estado rudimentar ou se desenvolver para formar as “bonecas” (inflorescência feminina) são produzidas a partir dos nós acima do solo. Os colmos não são ôcos, mas compactos e terminam com o pendão (inflorescencia masculina). O sistema radicular é constituído de raízes primárias e laterais

(seminais) e raízes adventícias. O número de folhas pode ser determinado quando as plântulas têm somente alguns dias de idade, seccionando-se acima do primeiro nó, revelando assim as folhas enroladas em volta uma das outras. O embrião tem geralmente de 4-5 folhas diferenciadas (GOODEMAN e SMITH, 1978).

2.4.3 História e origem do milho

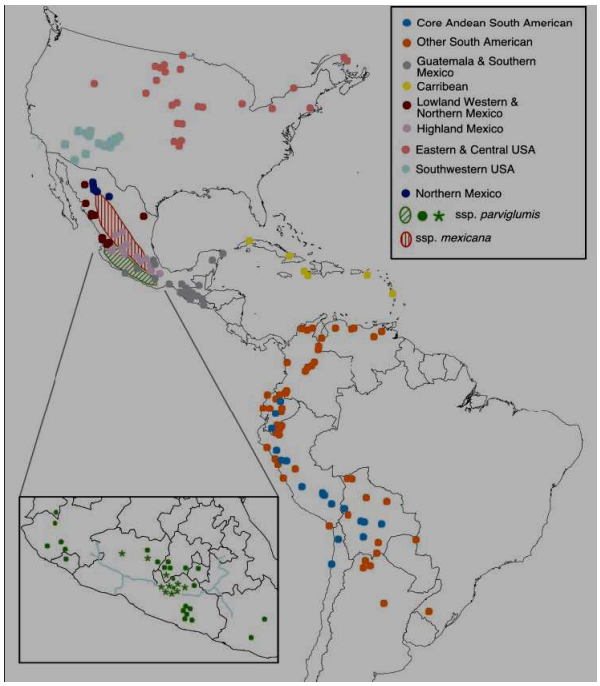

Figura 3. Possível localização da origem do milho
Fonte: Matsuoka et al., 2002

Em relação à história e à origem do milho, dois pontos se envolvem em dúvidas e têm sido objeto de muita especulação por parte dos pesquisadores. Pode-se afirmar que o milho é uma das plantas cultivadas mais antigas. Estudos arqueológicos fornecem elementos que permitem afirmar que o milho já existia como cultura, ou seja, em estado de domesticação, há cerca de 4.000 anos e já apresentando as principais características morfológicas que o definem botanicamente na atualidade.

Arqueólogos, pesquisando na cidade do México, descobriram grãos de pólen com cerca de 60.000 anos. Em escavações levadas a efeito na região sudeste do México,

encontraram-se espigas de milho primitivo, com cerca de 5.000 a 6.000 anos de idade. Na América do Sul, no Peru, os fósseis mais antigos encontrados possuíam idade de 2.700 anos antes de nossa época. Esses estudos permitem afirmar que o milho, provavelmente, teve origem no hemisfério americano do norte. Existe outra corrente que sugere a região de origem do milho como sendo a Ásia, inclusive há uma menção bíblica sobre uma espécie "miúda" de milho em Ezequiel 4:9, mas os argumentos apresentados são menos convincentes (MATSUOKA et al., 2002).

Tudo parece indicar (Figura 3) que a cultura do milho tenha começado onde hoje se localizam o México e a América Central há milhares de anos. Pesquisas recentes confirmam essa hipótese. Matsuoka et al. (2002), em estudos do genoma de 264 plantas individuais e desafiando a hipótese das múltiplas origens, constataram que o milho é oriundo de um único espécime, domesticado no Sul do México, aproximadamente há 9.000 anos. As análises também indicam que os tipos mais velhos de milho sobreviventes são aqueles oriundos das terras altas mexicanas e se diversificaram nessas regiões antes de se espalharam para as planícies e outras regiões das Américas. Apenas evidências modestas no fluxo de genes apontam para o teosinto. De acordo com o mesmo pesquisador, o nome do milho é de origem indígena caribenha, significa “sustento da vida”. Alimentação básica de várias civilizações ao longo dos séculos. Os Maias, os Astecas e os Incas reverenciavam o cereal na arte e na religião. Grande parte de suas atividades diárias era ligada ao seu cultivo.

2.4.4 Composição do milho

O milho é um dos alimentos mais nutritivos que existem. Puro ou como ingredientes de outros produtos, é uma importante fonte energética para o homem. Ao contrário do trigo e do arroz, que são refinados durante seus processos de industrialização, o milho conserva sua casca, que é rica em fibras, fundamental para a eliminação das toxinas do organismo humano.

Além das fibras, o grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, vitamínas (A e complexo B), sais minerais (ferro, fósforo, potássio, cálcio), óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose etc. Ele pode ser consumido diretamente ou como componente para a fabricação de balas, biscoitos, pães, chocolates, geléias, sorvetes, maionese e até cerveja. Apesar de usado para fazer pão, o milho não contém a proteína glúten.

Isso faz com que os assados de milho não sejam especialmente nutritivos (como é o caso dos assados feitos de trigo) (ABIMILHO, 2002).

2.4.5 Usos do milho

De acordo com EMBRAPA-CNPMS (1998), no Brasil apenas 5% do milho produzido se destina ao consumo direto humano, sendo a matéria-prima principal de vários pratos da culinária típica brasileira como canjica, cuscus, polenta, angu, mingaus, cremes, entre outros como bolos, pipoca ou simplesmente milho cozido. Sessenta e cinco por cento (65%) do milho é utilizado na alimentação animal e 11% é consumido pela indústria, para diversos fins. Nos Estados Unidos e no Canadá, o uso do milho na alimentação humana direta é relativamente pequeno - embora haja grande produção de cereais matinais como flocos de cereais ou *corn flakes* e xarope de milho, utilizado como adoçante. No México o seu uso é muito importante, sendo a base da alimentação da população (é o ingrediente principal das tortilhas e de outros pratos da culinária mexicana).

2.4.6 Pesquisas genéticas com milho

O milho é a espécie vegetal mais utilizada em pesquisas genéticas. Em1940, Bárbara McClintock ganhou o Prêmio Nobel de Medicina pela sua descoberta de transposons que são segmentos de DNA que têm a capacidade de mover-se e replicar-se dentro do genoma, enquanto estudava o milho. A produção de milho é uma das mais difundidas entre as de alimentos transgênicos, em parte porque seu consumo é basicamente para ração animal, onde a resistência do consumidor é menor. Algumas variedades de milho não comerciais e selvagens são cultivadas ou guardadas em bancos de germoplasma para adicionar diversidade genética durante processos de seleção de novas sementes para uso doméstico - inclusive milho transgênico (CRUZ e PEREIRA FILHO, 2007).

2.4.7 Cultivares de milho

Para safra de 2005/06 foi disponibilizado para comercialização cerca de 240 cultivares de milho, sendo nove de milhos especiais (seis cultivares de milho pipoca, uma de milho doce, uma de milho ceroso e uma para utilização de canjica). Cerca de 30 novas cultivares foram lançadas, substituindo 22 que deixaram de ser comercializadas, demonstrando

assim a dinâmica dos programas de melhoramento e a importância do uso de semente no aumento da produtividade (CRUZ e PEREIRA FILHO, 2007).

As variedades de milho branco no Brasil têm como principal finalidade a produção de canjica, grãos e silagem. Em algumas épocas e regiões do Brasil, a cotação da saca de milho branco pode ser até 50% superior à do milho tradicional. O auge da demanda ocorre no período imediatamente anterior à quaresma, pois a canjica é um prato típico dessas festividades. O milho branco é bastante difundido nos estados do Paraná e de São Paulo, mas há também plantações isoladas nos estados de Santa Catarina, Minas Gerais e Mato Grosso. Entre os principais municípios produtores estão Londrina, Irati e Pato Branco no Paraná e Tatuí e Itapetininga em São Paulo (EMBRAPA-CNPMS, 1998). Nos Estados Unidos, a produção de milho branco em 2004 correspondia a 3% do total. Embora ainda minoritário, o milho branco tem ganhado espaço no mercado nos últimos anos e a área plantada tem refletido o aumento na demanda. Um dos motivos é que o mercado reconhece que ainda não existem variedades trangênicas de milho branco, o que automaticamente aumenta seu valor de mercado em nichos específicos.

2.4.8 Milho transgênico

A variedade transgênica mais conhecida é desenvolvida pela Monsanto, e é conhecida como RR GA21, tolerante ao herbicida glifosato. Ela é utilizada extensivamente nos Estados Unidos. Outras empresas atuantes no ramo incluem a Syngenta e a DuPont. Em 1999, a Novartis foi a primeira empresa a receber autorização do governo brasileiro para realizar testes no país com o milho transgênico BT, resistente a insetos. Segundo a AGROW (2006), o milho transgênico traz um aumento médio de 8% na produtividade. Nos EUA, mais de 70% do milho plantado é transgênico. Na Argentina e no Brasil a produção de variedades transgênicas é crescente, embora nem sempre a prática do cultivo dessas variedades seja legal. Em Honduras (terra de origem do milho), há relatos de cultivo de milho transgênico podendo cruzar com as variedades locais. No México, o milho transgênico também enfrenta séria oposição governamental: em 1988, foi proibida a experimentação, o cultivo e a importação de milho transgênico. Nem sempre as remessas de milho importado dos Estados Unidos chegam aos países da América Latina com rotulagem indicando isso aos consumidores. Apesar disso, pesquisas mexicanas indicam que a

contaminação do milho nativo pode ter sido causada pela polinização acidental, que talvez tenha ocorrido também em outros países centro-americanos.

2.4.9 Cultivo do milho

O milho é cultivado em diversas regiões do mundo. Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos. No Brasil, que também é um grande produtor e exportador, São Paulo e Paraná são os estados líderes na sua produção. O plantio de milho é feito tanto na chamada “safrinha” quanto na safra principal, ou seja, a safra de verão. Na Região Sudeste do Brasil, o mês de plantio mais indicado geralmente é setembro aproveitando-se das chuvas da primavera, mas pode ser feito até novembro, inclusive. Seu sistema de raízes é sensível e a planta é dependente de chuvas constantes, ou irrigação. Dependendo do mês de plantio, o espaçamento entre as linhas e a quantidade de sementes por metro deve variar. O ciclo do plantio varia entre 115 e 135 dias. A adubação deve ser feita conforme a análise do solo. O controle de pragas e plantas invasoras só deve ser feito se necessário. Nem sempre há necessidade de irrigação intensiva: pelo menos nas regiões tradicionalmente produtoras, a precipitação é suficiente para as necessidades hídricas da planta. Lavouras bem-sucedidas apresentam valor médio de germinação na faixa de 95%. A produtividade média varia entre 104 e 140 sacas por hetare. Nas regiões de produtividade recorde do Brasil, há produtores que chegam a alcançar 200 sacas por hectare (CONAB, 2006).

2.4.9.1 Cultivo do milho no mundo

Os Estados Unidos respondem por quase 50% da produção mundial. Outros grandes produtores são a China, a Índia, o Brasil, a França, a Indonésia e a África do Sul . A produção mundial de milho chegou a 600 milhões de toneladas em 2004. O nível tecnológico da cultura está entre o médio e o alto. O cultivo é idealmente mecanizado e se beneficia bastante da técnica de plantio direto (PORKWORLD, 2004). Na América do Norte, os campos são frequentemente plantados utilizando a rotação de culturas com uma plantação fixadora de nitrogênio. Nos Estados Unidos, uma boa colheita é prevista tradicionalmente se o milho está "na altura do joelho por volta de 4 de julho" ("*knee-high by the Fourth of July*"), embora híbridos modernos frequentemente excedam essa taxa de crescimento. Em Portugal, a

área cultivada é de cerca de 180. 000 hectares. Os milhos mais semeados são os híbridos, representando cerca de 71,4 % da área global da cultura.

2.4.9.2 Cultivo do milho no Brasil

O milho no Brasil é cultivado em 3,6 milhões de propriedades rurais, abrangendo na safra 2000/2001, uma área de 13 milhões de hectares e apresentou, respectivamente, produção e produtividade de 41.500 milhões de toneladas e 3.272 kg/ha (IEA, 2002). É usado tanto diretamente como alimento, quanto para usos alternativos. A maior parte de sua produção é utilizada na alimentação animal, chegando assim à alimentação humana de modo indireto como cane bovina, carne suína, carne de aves, ovos, peixes etc. Além dos benefícios óbvios decorrentes da exportação, a cultura de milho adquire importância estratégica quando se leva em conta a vantagem de mercado que uma grande produção nacional de milho traz para atividades agrícolas que usam a ração animal como base: a pecuária, a avicultura, a suinocultura e até a piscicultura. Freqüentemente, a área plantada não é suficiente para atender as demandas do mercado interno, gerando problemas de abastecimento para a indústria nacional. A solução para esse problema passa pela expansão da área plantada e pelo aumento da produtividade das áreas atualmente cultivadas.

Afora o seu alto prestígio no agronegócio (AGRIANUAL 2006), o milho também é uma das culturas mais cultivadas pela agricultura familiar brasileira, tanto para a alimentaçao básica quanto para a venda local. A produção de milho no Brasil, juntamente com a da soja, contribui com cerca de 80% da produção de grãos. A diferença entre as duas culturas está no fato de que a soja tem liquidez imediata, dadas as suas características de "commodity" no mercado internacional, enquanto que o milho tem sua produção voltada para abastecimento interno. Apesar disto, o milho tem evoluído como cultura comercial apresentando, nos últimos trinta anos, taxas de crescimento da produção de 3,0% ao ano e da área cultivada de 0,4% ao ano.

2.4.10. Colheita do milho

Até a década de 50, a maior parte do milho era colhida à mão. Isso frequentemente envolvia grandes números de trabalhadores e eventos sociais associados. Apenas pequenos tratores eram utilizados, mas as colheitadeiras mecânicas só foram utilizadas

após á Segundo Guerra Mundial. Na mão ou através da colheitadeira, a espiga inteira é coletada e separada dos grãos e do sabugo. Anteriormente, isso era feito em uma máquina especial. Hoje, as colheitadeiras modernas têm unidades de separação de grãos anexas. Elas cortam o milho próximo à base, separam os grãos da espiga com rolos de metal e armazenam somente os grãos (ABIMILHO, 2002).

2.4.11 Sistema de produção do milho

A importância da produção de grãos no mundo pode ser observada por alguns de seus números. A seguir apresenta-se um panorama geral da situação produtiva mundial de alguns grãos, em especial o milho, cuja produção é inferior apenas à do trigo e à do arroz. Em 1999, o panorama mundial da produção de milho apontava os primeiros 11 países produtores e suas respectivas participações percentuais, com relativo destaque para a produção brasileira. Assim, EUA (39,93%), China (21,03%), Brasil (5,36%), México (3,05%), França (2,60%), Argentina (2,20%), Índia (1,75%), Romênia (1,67%), Itália (1,66%), Indonésia (1,52%) e Canadá (1,52%) produziram aproximadamente 82,3% do total mundial (PORKWORLD, 2002a).

Ao longo de algumas safras, partindo de 1996/1997 (Tabela 2), citado por Bueno (2002), observa-se a evolução da produção mundial de milho.

Tabela 2. Produção mundial de milho em grãos, safras 1996/1997 a 2000/2001, em t 10^6

Safra	Produção
1996/1997	591,2
1997/1998	575,4
1998/1999	605,9
1999/2000	604,4
2000/2001	614,9

Fonte: World Agricultural Supply and Demand Estimates – USDA, apud Porkworld (2002b).

No cenário brasileiro, a produção de milho em grãos ocupa lugar de destaque. A produção nacional passou de $31,12x10^6$ t, em 2000 para $36,77x10^6$ t em 2001

(PORKWORLD, 2002c). Entre 1996 e 2001, a produtividade passou de 41,32 sacas de 60 kg ha^{-1} para 55,82 sacas.

A agricultura familiar é a principal geradora de postos de trabalho no meio rural brasileiro. Mesmo dispondo de apenas 30% da área, é responsável por 76,9% do pessoal ocupado. Dos 17,3 milhões de pessoal ocupado na agricultura brasileira, 13.780.201 estão empregados na agricultura familiar. Os agricultores familiares são responsáveis pela contratação de 16,8% (308.097) do total de empregados permanentes do Brasil, enquanto os estabelecimentos patronais contratam 81,7% (1.502.529) (INCRA/FAO, 2000).

O relatório de Guanziroli et al. (1996) salienta que 44,8% do milho produzido no país é cultivado pela agricultura familiar. Esta organização social de produção ocupa 22% da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros, englobando cerca de 14 milhões de pessoas, isto é, 59% do pessoal ocupado no setor agrícola. Segundo INCRA/FAO (2000), em 1995, a participação dos estabelecimentos agropecuários familiares no Valor Bruto da Produção (VBP) de milho atingiu 48,6%, quase a metade de todo o VBP do milho produzido no Brasil.

Bergamasco (1993) constatou a importância do caráter familiar na agricultura no estado de São Paulo. A autora demonstrou que 54,5% dos estabelecimentos paulistas eram constituídos pelo conjunto de unidades familiares. Em estudo feito pelo ITESP (1998), referente à safra 97/98, o milho esteve entre as culturas que mais se destacaram nos assentamentos rurais do estado de São Paulo, seja pela área ocupada ou pelo número de famílias envolvidas.

Estudos da FAO/INCRA (1996) relataram que 44,8% do milho produzido no Brasil era cultivado pela chamada agricultura familiar. Cabe destacar que ela ocupava 22% da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros em 1985, englobando cerca de 14 milhões de pessoas, ou seja, 59% do pessoal ocupado no setor agrícola. Do ponto de vista econômico, a participação da agricultura familiar representou 28%. Os autores fazem ressalva de que esses estabelecimentos tiveram acesso a apenas 11% do total dos financiamentos disponíveis.

No estado de São Paulo, Campos e Bueno (1999), ao analisarem a produção, a capacidade e a estrutura de armazenagem dos principais grãos e café em coco dos estabelecimentos agropecuários do estado de São Paulo, apontaram que o milho foi

responsável por 61,64% da quantidade total colhida na safra de 1995/96. Os autores afirmaram ainda que aproximadamente 1,05 x 10^6 t, representando 38,35% do total colhido de milho em grão, tinham origem em estabelecimentos agropecuários com área total menor que 100 ha.

A área em produção no estado de São Paulo, não contabilizando o cultivo do milho "safrinha", segundo IEA (2002), manteve-se estabilizada no patamar de 700 mil hectares, entre 1996 a 2000, com uma produção que variou de 41,7 x 10^6 para 45,5 x 10^6 sacas. A produtividade média é de 3.600 kg x ha^{-1}. No ano de 2001 foi registrado um relativo acréscimo, tanto em área (786.165 ha), quanto em produção (55,8 x 10^6 sc). A evolução do rendimento no período é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Produtividade do milho, Brasil e estado de São Paulo, 1996 a 2001, em kg ha^{-1}

Ano	Brasil	Estado de São Paulo*
1996	2.479	3.461
1997	2.622	3.546
1998	2.796	3.568
1999	2.776	3.812
2000	2.718	3.855
2001	3.349**	4.259

Fonte: IEA, 2002. Sem contabilização do milho "safrinha".** Não consolidado / estimativa.

No interior dos assentamentos rurais, estudos da ITESP (1998), citados por Bueno (2002), encontraram índices de produtividade significativos. A cultura do milho foi apontada como exemplo, além do feijão e trigo, dado que o índice mínimo exigido pelo INCRA no estado de São Paulo, para verificar se as propriedades eram ou não produtivas, era de 1,9 t ha^{-1}, enquanto que a produtividade média do estado era de 3,54 t ha^{-1} e os índices dos assentamentos paulistas, no mesmo ano agrícola, variaram de 2,23 t ha^{-1} a 5,09 t ha^{-1}.

Pode-se observar, de acordo com a mesma fonte, (ITESP, 1998), uma importante participação dos assentamentos rurais na área plantada paulista, em que pese ocuparem 0,54% da área total agricultável e responderem por 2,03% das unidades de produção agrícola do estado de São Paulo.

O Brasil é responsável por 6,6% da produção mundial de grãos de milho, destacando-se como terceiro maior produtor mundial do cereal, com produção inferior apenas aos Estados Unidos e a China (AGRIANUAL, 2006). De acordo com Corrêa et al. (2004), a produção brasileira de grãos de milho variou entre 30 e 40 milhões de toneladas nos últimos anos, sendo que no ano agrícola de 2003 a produção atingiu 47,4 milhões de toneladas. Esse incremento na produção (CRUZ, 2004), se deve mais ao aumento da produtividade do que ao incremento da área cultivada e, também, pelo maior cultivo do cereal no chamado período "safrinha" ou segunda safra a qual, de acordo com dados do Agrianual (2006) é responsável por aproximadamente 22% da produção.

Para a safra 2006, de acordo com Agrianual (2006), houve uma previsão da produção brasileira de grãos de milho de 41,3 milhões de toneladas. Desse montante, o estado de São Paulo contribuiria com aproximadamente 4,7 milhões de toneladas (11,3 % da produção nacional), destacando-se como terceiro estado de maior produção do cereal, perdendo apenas para os estados do Paraná e de Minas Gerais, com produções de 10,4 e 6,8 milhões de toneladas de grãos, respectivamente. A área brasileira cultivada com milho variou nos últimos sete anos de 11,3 a 13,2 milhões de hectares.

Para o ano agrícola de 2006, fez-se uma previsão de aproximadamente 13,1 milhões de hectares cultivados com milho. A região sudeste apresentou pequenas flutuações, sendo que no ano agrícola de 2005 foram cultivados aproximadamente 2,5 milhões de hectares e, desse montante, 43% no estado de São Paulo, perdendo em área cultivada, apenas para o estado de Minas Gerais. Comparado com períodos anteriores, houve aumento na produtividade média brasileira de grãos de milho, atingindo valores médios de 3,2 a 3,6 $t.ha^{-1}$. No estado de São Paulo a produtividade da cultura do milho está em torno de 4,0 $t.ha^{-1}$ (AGRIANUAL, 2006).

A cultura do milho, mesmo com produção menor nos últimos anos em relação ao ano de 2003, em que houve uma supersafra, continua em destaque no cenário nacional de produção de grãos. Possui relevante importância no agronegócio nacional com perspectivas promissoras à exportação. Sua produção também é estimulada pelo alto consumo do produto como fonte de alimentação para a criação de animais, com destaque para a avicultura, suinocultura e bovinocultura (CORRÊA et al., 2004).

Em âmbito nacional, Mello Filho e Richetti (1997) relataram que a cultura do milho é de relevante importância tanto sob aspecto econômico quanto social. Caracteriza-se também por sua importância agronômica, sendo utilizada em sistemas de rotação de culturas, principalmente em agrossistemas em que a soja é a cultura predominante. Os mesmos autores citam que no sistema plantio direto, o milho é uma alternativa econômica utilizada em programas de rotação de culturas, pois produz alta quantidade de matéria seca e decompõe mais lentamente devido a sua maior relação carbono/nitrogênio, protegendo o solo por período de tempo mais longo. Segundo Fancelli (2002), devido à quantidade de resíduos produzidos, há uma relação de dependência entre o sistema plantio direto e a cultura do milho.

2.4.12 Energia fóssil envolvida nos processos agrícola e industrial do milho

De acordo com Urquiaga et al. (2005), pouca atenção vem sendo dada aos estudos do balanço energético, que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida na obtenção, incluindo-se o processo agrícola e industrial. De acordo com esses autores, somente as culturas de alta produção de biomassa e com baixa adubação nitrogenada têm apresentado balanços energéticos positivos, o que poderia ser melhorado mediante o uso de variedades de melhor rendimento e a substituição e/ou redução da adubação nitrogenada com o uso de leguminosas - adubos verdes em rotação ou consórcio.

Em pesquisas com biomassas, Pimentel e Patzek (2005), constataram que as saídas da energia produzidas pelo etanol de milho e pelas biomassas de madeira são menores do que as entradas de energia fóssil utilizadas na sua obtenção. O mesmo é verdadeiro para produzir o biodiesel a partir da soja e do girassol. Entretanto, o custo de energia para produzir o biodiesel a partir da soja mostrou-se ligeiramente negativo quando comparado com a produção do etanol. Os resultados obtidos pelos autores, nos termos de saídas da energia comparadas com as entradas foram: a produção do etanol que usa o grão do milho requereu 29% a mais de energia fóssil do que a energia do combustível do etanol produzido; a produção do etanol que usa biomassas de madeira requereu 57% a mais de energia fóssil do que o combustível do etanol produzido; a produção de biodiesel que usa a soja requereu 27% a mais energia fóssil do que o combustível do biodiesel produzido; a

produção de biodiesel que usa o girassol requereu 118% a mais de energia fóssil do que o combustível do biodiesel produzido.

A relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida em todo o seu processo de produção, incluindo o processo agrícola e industrial, fornece o balanço energético do combustível. Nesse sentido, nos EUA e na Europa vários trabalhos mostram balanços energéticos negativos. Nos Estados Unidos, Pimentel e Patzek (2005) calculou que são necessários 1,65 GJ (Giga Joules) de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma do etanol do milho. E Gover et al. (1996) calcularam que no Reino Unido seriam necessários 1.01 GJ de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma de biodiesel de canola.

Entretanto, dois relatórios dos EUA (SHAPOURI et al., 2002) e da Comunidade Européia (ARMSTRONG et al., 2002), que consideram muitos estudos feitos nos dois continentes, concluíram, respectivamente, que são necessários 0,81 GJ de energia fóssil para a produção de 1.0 GJ de energia na forma de etanol derivado do milho, e 0,68 GJ energia fóssil para produzir 1,0 GJ.

Patzek (2006) pesquisou o índice de amido total extraído de 708 amostras de 401 variedades comerciais do milho do Estado de Illinois. O resultado mostrou que o índice de amido extraído é em média de 66,2% e com um desvio padrão de 1,13%.

De acordo com Patzek (2004) a agricultura industrial requer uma maquinaria pesada (caminhões, tratores, ploughs, guindastes, carros da estrada de ferro, aviões, locomotivas, barcas, navios, etc.), que deve ser substituída periodicamente. Requer também uma infra-estrutura extensiva de apoio: peças de reposição, lojas de máquinas, fábricas de máquinas, estradas de acesso, trilhas da estrada de ferro, portos, silos, bombas, secadores, geradores de eletricidade, condicionadores de ar, etc.

A colheita do milho industrial, nos Estados Unidos, requer uma infra-estrutura mais elevada. As entradas de energia, referentes a ferragens da maquinaria operacional, foram estimadas em 68-168 MJ/kg, perto dos 110 MJ/kg estimados por Pimentel (2003). Shapouri et al. (2002) e Wang et al. (1997) omitem essas entradas.

Bueno (2002), em estudo sobre a eficiência cultural de um agroecossistema milho, reconhece a necessidade da mensuração de índices capazes de captar as diversas relações de fluxos de energia num sistema agrícola e que essa abordagem energética

complementa de maneira singular, juntamente com outras abordagens (social, cultural, política, dentre outras), análises mais aprofundadas sobre os agroecossistemas, principalmente no tocante ao item sustentabilidade.

2.4.13 Energia envolvida com as sementes do milho

Cox e Hartkins (1979) conferiram à semente de milho o índice energético de 3.500 kcal kg^{-1}. Esse coeficiente foi utilizado como exemplo de valores energéticos a serem utilizados em análises energéticas de sistemas agrícolas por Hart (1980). Com resultados semelhantes, encontramos Castanho Filho e Chabariberi (1982) que utilizaram coeficientes de conversão para sementes e mudas de duas entidades, uma nacional e outra norte-americana, chegando ao índice calórico do milho igual a 3.610 kcal kg^{-1}.

Do mesmo modo, Pinto et al. (1983) ao estudarem a eficiência energética de 5 cultivos tradicionais da cultura do milho, consideraram o valor energético da semente como sendo de 3.340 kcal kg^{-1}, mesmo valor adotado por Hetz e Bórquez (1987) em trabalho realizado na região centro-sul do Chile.

Entretanto, Pimentel et al. (1973) quantificaram em 7.936,65 kcal kg^{-1} o valor calórico de sementes de milho híbrido, partindo do dobro do custo energético do grão colhido, devido aos maiores esforços necessários à produção. Mello (1986) considerou 7.613 kcal por quilograma de semente como coeficiente energético para o sistema milho estudado em Santa Catarina. Esses valores se assemelham aos adotados pela FAO (1976), que ao indicar índices energéticos para a produção de arroz e de milho, segundo métodos modernos, transitórios e tradicionais em três países, estimou que a produção de um quilo de sementes de alta qualidade demandou 7.200 kcal nos Estados Unidos e 3.600 kcal nas Filipinas e no México.

Beber (1989), ao compilar dados de INCAP-CINDN (1964), Castanho Filho & Chabariberi (1982), Pimentel (1980), EMBRATER (1979), EMBRAPA (1985), e Quesada et al. (1987), utilizou, em trabalho desenvolvido junto a pequenas propriedades rurais de um Município do Rio Grande do Sul, o coeficiente energético de 7.750 kcal por quilograma de semente de milho híbrido, semelhantes aos adotados pela FAO.

2.4.14 Recursos ambientais envolvidos no cultivo do milho

Atualmente existe um crescente interesse por fontes alternativas de energia, principalmente por aquelas que contribuam para mitigar as emissões de CO_2, característica das fontes tradicionais de energia fóssil. Para isso, o uso de biocombustíveis, como lenha, carvão vegetal, bioetanol, óleo de dendê e biodiesel produzido pela esterificação de óleos vegetais com metanol e etanol, são vistos hoje como alternativas viáveis.

O húmus, por definição, é o componente do solo que se desenvolve através do tempo pela decomposição da matéria orgânica. O húmus do solo representa um dos principais estoques de carbono dos continentes. Um hectare do milho produz 8600 quilogramas de grãos e 8600 quilogramas de palha, das folhas e das raizes (PIMENTEL, 2003). De acordo com Patzek (2004) a decomposição de todos os 8600 quilogramas da palhada da planta produz aproximadamente 2.100 kg/ha de húmus. Baseado na informação em Troeh & em Thompson (1993), Pimentel (2003) calculou que somente 1630 kg do húmus seriam adicionados ao solo, dos 8600 kg/ha de resíduos do milho.

Todas as partes da planta de milho, à exceção do amido no grão, devem ser decompostos e reciclados para recuperar seus N, P, K, C, CA, magnésio, Zn, B, Cu, manganês, etc., e diminuir o grau de insustentabilidade do agroecossistema milho. Entretanto, a maioria do nitrogênio, do fósforo e de alguns outros nutrientes são translocados da planta vegetativa para o grão. A colheita inteira da planta remove também a maioria dos metais do solo essenciais ao bem estar de plantas de milho. A necessidade de reciclar todas as partes da planta e reduzir a erosão do solo, negada agora pelas novas alternativas de produzir o etanol das plantas inteiras de milho, colhendo tudo do campo (NREL, 2002; SHEEHAN et al, 2004), interrompe a dinâmica dos ecossistemas através do tempo que é a de reciclar quase toda a massa que gera, caso contrário a vida não persistiria.

Deluga et al. (2004), além de concordarem com a insustentabilidade do ciclo industrial do milho-etanol, pesadamente dependente do ambiente, afirmam que a produção de etanol aproveitando também os restos agroculturais, ou seja, as folhas, as hastes e as raízes da planta torna-se ainda mais insustentável e cientificamente indefensável.

Vários autores, Berthiaume et al. (2001); Patzek et al. (2005); Pimentel (2003); (Wang et al. (1997); Shapouri et al. (2002) se posicionam de modo direto sobre a produção de etanol de milho. Do mesmo modo, ainda que de forma indireta, Davis et al.

(2002); Bossel et al. (2004); Dresselhaus et al. (2003); Keith e Farrell (2003); Tromp et al (2003); Celia (2002) concordam que o ciclo industrial do milho-etanol acelera o esgotamento irrevogável dos recursos naturais: combustíveis fosseis, minerais, camada superficial do solo, água de superfície e o ar.

Quanto à necessidade de água no processo industrial milho-etanol, White e Johnson (2003) concluíram que um processo completo para a obtenção do biocombustível necessita as seguintes quantidades de água por 1 litro do etanol: 10-12 litros na moagem do milho; 20-25 litros na fermentação da glicose. Assim a quantidade total de água limpa no processo é de 30-37 litros por 1 litro de etanol, ou 38-46 litros de água por quilograma de etanol produzido. De acordo com Pimentel (2003), 159 litros de água são necessários para produzir 1 litro de etanol 95%, o que significa 190 litros de água por um quilograma de etanol 100%.

2.5 Índices Energéticos (os fornecidos pela literatura e os adotados nesta pesquisa)

2.5.1 Mão-de-obra

Del Bianchi (1998) em estudo de medições no balanço de massa e de energia em uma fábrica de farinha de mandioca, de porte médio, visando avaliar pontos positivos e negativos das etapas de transformação da matéria-prima em farinha, concluiu que o consumo de energia referente ao trabalho humano em todas as etapas representou apenas 0,2% do total da energia consumida no processo.

Em pesquisas realizadas sobre consumo alimentar pela Fundação Getulio Vargas, através do Instituto Brasileiro de Economia, estimou em 350 kcal/hora o consumo energético para a mão-de-obra (FGV, 1979).

Christensen (1972) publicou uma tabela de requerimentos calóricos, expressa em kcal min^{-1}, que varia de trabalho muito leve (150 kcal h^{-1}) a trabalhos extremamente pesados (750 kcal h^{-1}).

Odum (1967) adotou 175 kcal h^{-1} para o dispêndio calórico do trabalho humano na produção de grãos em agroecossistema semipastoril. Pyke (1970), publicou tabelas de dispêndios calóricos para diversas atividades, classificando-as em trabalhos leves, moderados, pesados e muito pesados com gastos energéticos variando entre 19 a 90 kcal h^{-1}, 80 a 200 kcal h^{-1}, 170 a 700 kcal h^{-1} e 400 a 1.000 kcal h^{-1}, respectivamente.

Pimentel e Pimentel (1979) adotaram outros coeficientes energéticos para o trabalho humano, mais detalhado que os anteriores. Esses coeficientes, baseados em atividades agrícolas específicas e não mecanizadas, variaram de 445 kcal h^{-1} para atividades leves, 545 kcal h^{-1} para atividades médias e 645 kcal h^{-1} para atividades consideradas pesadas, chegando numa média de 2,2 MJ h^{-1}. Nesses valores estão incorporados 45 kcal h^{-1} dedicados ao sono e 100 kcal h^{-1} para atividades não laborativas.

Pimentel e Burgess (1980) passaram a desconsiderar em seus trabalhos a energia dispendida no trabalho humano, por entenderem que tal contabilização deveria abranger todo o sistema de sustentação do ser humano e da sociedade.

Mello (1986), em estudo sobre agricultura não mecanizada na Hungria, URSS, Itália, Alemanha e Gâmbia, datado de 1955, consideraram como média para homens de massa média igual a 65 quilogramas e mulheres de massa média equivalente a 55 quilogramas, um gasto energético (expresso em kcal min^{-1}), medido pelo consumo de oxigênio e dispêndio de dióxido de carbono, de 360 kcal h^{-1} e 282 kcal h^{-1}, respectivamente.

Jarach (1985), ao analisar a equivalência entre valores físicos e calóricos utilizada nas análises e balanços energéticos na agricultura italiana, considerou o mesmo coeficiente médio adotado por Pimentel e Pimentel (1979) para a energia computada frente ao trabalho humano, ou seja, 2,2 MJ h^{-1}. Esse mesmo índice é utilizado por Galli e Spougnolli (1985) na Itália.

Castanho Filho e Chabaribery (1982), ao traçarem o perfil energético da agricultura no estado de São Paulo adotaram, para uma jornada de trabalho de 8 horas, o valor de 525 kcal h^{-1}. Esse valor, obtido da literatura dos Estados Unidos, foi considerado alto para as condições nutricionais brasileiras, segundo Comitre (1993), que ao contabilizar a energia dispendida pelo trabalho humano, na região de Ribeirão Preto, estado de São Paulo, adotou o valor de 292,50 kcal h^{-1}.

Fluck (1976) também questiona o valor indicado por diversos autores quanto à energia referente ao trabalho humano, por essa estar geralmente associada à quantificação calórica de ingestão diária de alimentos. Segundo o autor, um trabalhador rural consome muito mais energia do que aquela representada pelo alimento ingerido. Itens como educação, moradia, transporte, vestuário, entre outros, traz um conteúdo energético adicional

que, comumente, não se quantifica. Dessa forma, o autor utilizou o índice energético de 450 MJ h^{-1}, optando assim por um valor mais próximo da realidade.

Mello (1986), ao proceder a análise energética de agroecossistemas no estado de Santa Catarina, considerou um coeficiente de 500 kcal h^{-1} para o trabalho humano na agricultura. Nesse coeficiente o autor incorpora as chamadas atividades extralaborativas.

Do mesmo modo, Doering e Peart (1977), adotando uma equivalência entre o consumo calórico do trabalho humano com aquele gasto pela máquina e implementos que o substituiu, encontrou um valor de 525 kcal h^{-1}.

Com valores um pouco mais baixos encontramos Leach (1976) que considerou o valor de 200 kcal h^{-1}, afirmando que computou apenas o gasto calórico referente às horas de trabalho humano na agricultura; Revelle (1976) que adotou 250 kcal h^{-1} para agricultores e 200 kcal h^{-1} para agricultoras, como o valor energético do trabalho humano na agricultura indiana e Heichel (1973) que adota o valor de 175 kcal h^{-1} para o dispêndio energético do trabalho humano na agricultura.

A FAO/OMS (1973) calculou as necessidades calóricas diárias médias de populações como sendo 125 kcal h^{-1} para o trabalho do homem e 91,7 kcal h^{-1} para o trabalho da mulher. Em outro estudo, a FAO (1980) estimou em 250 kcal h^{-1} as necessidades energéticas para um homem trabalhar em operações agrícolas de atividade moderada.

Odigboh (1997) determinou que o consumo de energia humana (razão de consumo energético máximo) é de 0,30 kW, com uma eficiência de conversão de 25%, totalizando um *input* energético médio de 0,075kW, mantido de forma contínua por 8 a10 horas de trabalho diário. Para determinar o *input* de energia do trabalho em cada operação, incluindo a intermitência dos períodos, produziu a seguinte fórmula: Em = 0, 075. N.Ta (kWh) onde 0,075kW = a força média utilizada durante o trabalho humano em kW); N = número de pessoas envolvidas em uma operação; Ta = o tempo empregado em cada operação (horas).

Tentando dar uma resposta a essas variações, Risoud (1999) reconhece que a maneira de contabilizar o trabalho humano em termos calóricos e sua inclusão em matrizes energéticas está longe de representar um consenso. Opinião compartilhada por Campos (2001), muito embora a importância da mão-de-obra, em países periféricos e em agroecossistemas não convencionais, seja indiscutível.

Em relação ao cálculo da energia investida pelos agricultores nas diversas operações que caracterizaram o itinerário técnico, discriminaremos a mão-de-obra envolvida por meio de anotações individuais, entrevistas e pela consulta aos registros realizados pela própria empresa.

O valor de 292,50 kcal h^{-1} trabalhada será o dispêndio energético adotado neste trabalho; primeiro por ter sido desenvolvido no estado de São Paulo, em condições mais próximas regional e culturalmente às condições da pesquisa; segundo, por ser um valor intermediário aos determinados pela FAO (1980) e pela FGV (1979), estimados em 250 kcal h^{-1} e de 350 kcal h^{-1}, respectivamente. O valor de 292,50 kcal h^{-1} (COMITRE, 1993) se constitui em índice energético intermediário aos adotados pela FAO e pela FGV, que oscilam entre 250 e 350 kcal h^{-1} trabalhada. Desse modo garantem uma faixa de variação suficiente para dispensar os detalhamentos empregados nos cálculos energéticos para a mão-de-obra, uma vez que as operações de condução do trator, condução do caminhão, carregamento, plantio e adubação, transporte das manivas e/ou adubos, aplicação de calcário, capina manual e/ou mecânica, pulverizações, colheita etc. exigem níveis diferentes de dispêndio energético.

2.5.2 Material de propagação (manivas, toletes, sementes)

Registram-se na literatura inúmeros trabalhos que consideram a energia imputada no material de propagação, particularmente sementes, como superior ao registrado pelo produto final (grãos, por exemplo). Tal afirmativa baseia-se no emprego de mais energia para a obtenção de sementes melhoradas, ou seja, demanda mais tecnologia.

2.5.2.1 Material de propagação da mandioca (manivas)

Segundo trabalhos desenvolvidos por Normanha e Pereira (1950), Nunes e Oliveira (1972), Matos et al. (1973), Siqueira (1973), Correia (1977), Silva (1971), Sampaio e Conceição (1972), observa-se que os espaçamentos testados geralmente estão contidos nos intervalos de 0,60 a 1,40m entre linhas e de 0,40 a 1m nas linhas. Há uma tendência para se recomendar os espaçamentos compreendidos entre 1,0 x 0,6m a 1,0 x 0,50m. Para variedades em São Paulo o espaçamento utilizado é de 0,90 m x 0,90 m até 1,20m x 1,20m.

De acordo com os resultados experimentais, a densidade de plantio está em função da cultivar e as mais adotadas correspondem a uma população de 16.000 a 20.000 plantas por hectare. Num corte manual um homem pode preparar em média seis mil toletes por dia, o que levaria em média três dias para preparar o material necessário para plantar um hectare de mandioca.

Quanto aos *inputs* energéticos do material de propagação necessário para o plantio de um hectare de mandioca adotaremos os valores determinados por Silva et al. (1978) e por Moreira et al. (1979), que foram definidos em 118.000 kcal ha^{-1}, ou 494 MJ ha^{-1}.

2.5.2.2 Material de propagação da cana-de-açúcar (toletes)

Quanto aos *inputs* energéticos do material de propagação necessário para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar encontramos em Silva (1978) e Moreira (1979), valores definidos em 188 Mcal ha^{-1}, ou 787 MJ ha^{-1}. Entretanto, em trabalhos mais recentes encontramos em Urquiaga et al. (2005) valores de 480 MJ ha^{-1}. Adotaremos neste trabalho de pesquisa os índices encontrados por Urquiaga et al. (2005), que para plantar um hectare de cana-de-açúcar são necessários 480 MJ ha^{-1} de material de propagação (toletes).

2.5.2.3 Material de propagação do milho (Sementes)

De acordo com Bueno (2002), os valores apresentados para o coeficiente energético da semente de milho divergem entre si praticamente em dois patamares, um próximo a 3.400 kcal kg^{-1} (PINTO et al., 1983; HETZ & BÓRQUEZ, 1987) e outro em torno de 7.500 kcal kg^{-1}. (PIMENTEL et al., 1973). Entretanto, Heichel (2004), para sementes de milho híbrido, encontrou valores de 104 MJ kg^{-1}, que estão muito acima dos estabelecidos pelos demais autores.

Beber (1989), ao compilar dados de INCAP-CINDN (1964), Castanho Filho e Chabariberi (1982), Pimentel (1980), EMBRATER (1979), EMBRAPA (1985), e Quesada et al. (1987), utilizou em seu trabalho, desenvolvido junto a pequenas propriedades rurais de um município do Rio Grande do Sul, o coeficiente energético de 7.750 kcal por quilograma de semente de milho híbrido.

A FAO (1976) adotou para os Estados Unidos o valor de 7.200 kcal kg^{-1} e para as Filipinas e México. 3.600 kcal kg^{-1}. Acredita-se que tal discrepância se deve

muito à falta de informação detalhada quanto ao tipo de material de propagação utilizado, se variedade ou híbrido.

O presente estudo utilizará o índice energético para sementes de milho proposto por Bueno (2002) que é de 7.936,65 kcal kg^{-1}. Esse índice é o mesmo adotado por Pimentel et al. (1973) que, embora tenha sido calculado para as condições dos EUA, em muito se aproxima do indicado por Beber (1989), que resulta de uma compilação de publicações nacionais.

2.5.3 Combustíveis (óleo diesel, etanol, óleo lubrificante e graxa)

Estudos realizados por Wang et al. (1997) utilizaram para o óleo diesel índices energéticos de 45,90 MJ kg^{-1}, o mesmo valor adotado por Berthiaume et al. (2001) e por Patzek (2004). Shapouri et al. (2002) adotaram índices de 64,25 MJ kg^{-1}. Para Pimentel (2003) os índices energéticos adotados em seus trabalhos para o óleo diesel foram de 50,24 MJ kg^{-1}. O óleo lubrificante e a graxa não são tratados por esses autores, nessa literatura.

Entretanto, Bueno (2002) utilizou em seu estudo os coeficientes calóricos que são publicados anualmente no BEN (Balanço Energético Nacional) e adotou os valores de 10.442,4 kcal l^{-1} (43,71 MJ l^{-1}) para o óleo diesel; 9.420 kcal l^{-1} (39,43 MJ l^{-1}) para os óleos lubrificantes e 10.361,52 kcal kg^{-1} (43,37 MJ kg^{-1}) para a graxa.

Percebe-se que os índices energéticos nacionais para o óleo diesel estão abaixo dos valores encontrados na literatura internacional. Provavelmente os valores nacionais estão embasados no óleo diesel de baixo valor calorífico (*Low Heating Value*) enquanto a literatura internacional adota índices para o óleo diesel de alto valor calorífico (*High Heating Value*). Assim, adotar-se-á neste trabalho de pesquisa os valores médios do óleo diesel fornecidos pela literatura internacional consultada que é de 48,38 MJ kg^{-1} ou 40,63 MJ l^{-1}.

Para o consumo de óleo lubrificante e de graxa, utilizados durante as operações de plantio e de colheita de um hectare, sejam eles de mandioca, cana-de-açúcar ou milho, serão adotados os índices energéticos fornecidos por Bueno (2002), ou seja, 9.420 kcal l^{-1} (39,43 MJ l^{-1}) para os óleos lubrificantes e 10.361,52 kcal kg^{-1} (43,37 MJ kg^{-1}) para a graxa.

Para o cálculo do balanço energético final usar-se-á o índice calórico do etanol a ser fornecido pela média dos trabalhos realizados por Wang et al. (1997),

Berthiaume et al. (2001), Shapouri et al. (2002), Pimentel (2003) e por Patzek (2004). Esses valores, embora diferentes entre um trabalho e outro, apresentaram pequenas variações ou desvios poucos significativos. Assim, a média entre os diferentes trabalhos é de 5.583 kcal l^{-1} (23,375 MJ l^{-1}).

2.5.4 Depreciação de máquinas e equipamentos (drenagem energética)

Embora existam dificuldades na obtenção de valores mais precisos acerca da energia contida nas máquinas, equipamentos e implementos agrícolas que são transferidas para o agroecossistema de cultivo durante as operações, diversos autores trabalharam a questão de formas diferentes.

Odum (1967), ao analisar a produção de grãos em sistema semi pastoril, indicou o coeficiente 20.712 kcal para cada kg de maquinaria utilizada.

Pimentel et al. (1973), analisando a produção de alimentos e a crise energética, utilizaram o valor energético de 19.941 kcal por kg de maquinário.

Segundo Makhijani e Poole (1975), em estudo relacionando energia e agricultura no Terceiro Mundo, determinaram que o dispêndio energético na produção de 1 kg de bens acabados de aço equivale a 17.500 kcal.

A FAO (1976) afirmou ser preciso um total de 20.808 kcal para a fabricação de cada kg de trator e demais maquinarias agrícolas, considerando intenso o valor de absorção energética necessária.

Leach (1976), embora trate de forma separada tratores e implementos, utilizou a mesma metodologia para ambos. Porém, adotou taxas do Reino Unido consideradas altas pelo próprio autor. Para o cálculo da energia contida nas máquinas e implementos apontou o coeficiente de 47.800 kcal para cada libra paga, em 1968, pelo produtor rural, depreciado linearmente ao longo da vida útil.

Tsatsarelis (1993), ao estudar os requerimentos energéticos em diferentes itinerários técnicos na produção de trigo na Grécia, calculou a energia total embutida nas máquinas como sendo igual a 142,7 MJ kg^{-1}.

Macedônio e Picchioni (1985), ao desenvolverem metodologia para o cálculo de consumo de energia fóssil na produção agropecuária, tomando como exemplo as culturas de trigo e soja no estado do Paraná, determinaram o coeficiente energético por

tonelada de trator, colhedora e implementos agrícolas utilizados a partir do peso, vida útil e pela Demanda Específica de Energia (DEE), chegando aos valores de 1.669 x 10^4 kcal t^{-1} para tratores e colhedoras e de 1.367 x 10^4 kcal t^{-1} para implementos e outros equipamentos não motorizados.

Campos (2001), ao proceder o balanço energético global de duas espécies de forrageiras envolvidas na pecuária leiteira intensiva na região de Coronel Pacheco, estado de Minas Gerais, trabalhou com os índices apontados por Macedônio e Picchioni (1985).

Devido à natureza desta pesquisa, cujo foco é a determinação dos *inputs* energéticos envolvidos nas operações de produção e industrialização da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho, objetivando a obtenção do etanol e, devido às múltiplas especificidades envolvidas na determinação da depreciação energética ou do fluxo energético que migra da composição das máquinas e equipamentos para os agroecossistemas cultivados (erosão energética), adotamos os valores disponíveis na literatura.

Dos trabalhos mais detalhados e atuais existentes na literatura pode-se citar o estudo realizado por Bueno (2002) que, investigando a migração energética das máquinas e equipamentos para um agroecossistema milho, durante as fases de cultivo e colheita mecanizada da cultura, chegou ao valor de 250,5 MJ ha^{-1}.

2.5.5 Corretivo do solo e fertilizantes químicos

Caso haja a necessidade de proceder à correção da acidez do solo (calagem), com o uso de calcário comum ou com calcário dolomítico, adotaremos como equivalente energético o valor de 40 kcal kg^{-1} desse insumo (SERRA et al., 1979; CASTANHO FILHO e CHABARIBERI, 1982; COMITRE, 1993; SARTORI, 1996; PINTO, 2002 e BUENO, 2002).

De acordo com Bueno (2002), ao se tratar dos macronutrientes tanto para a adubação básica como em cobertura, vários são os índices energéticos adotados. Segundo ele, além da energia contida no próprio fertilizante, a maioria dos autores leva em consideração os custos energéticos para a produção desses insumos.

A composição de uma mistura de adubos é, de forma geral, apresentada por uma série de três números, que indicam, pela ordem, as porcentagens de

nitrogênio, fósforo e potássio (Malavolta, 1979). O autor informa ainda que o nitrogênio do adubo expressa o teor de N total, já o fósforo é expresso em P_2O_5 e o potássio em K_2O.

Makhijani e Poole (1975), ao analisar energia e agricultura em países agrupados na condição de subdesenvolvidos e em desenvolvimento, afirmaram que o coeficiente energético adotado para a produção de nitrogênio depende da sua matéria-prima, gás natural e óleo ou carvão. Os autores consideraram que para a produção de 1 kg de N são necessários 18.750 kcal em países "subdesenvolvidos" e 25.000 kcal em países "em desenvolvimento".

Em trabalho relacionado com a produção de alimentos no Reino Unido e utilizando dados de um grande fabricante de fertilizantes da Grã-Bretanha, Leach (1976) apontou um custo energético médio de 19.111 kcal para a produção de 1 kg de N; 3.344 kcal para cada kg de P_2O_5 e 2.150 kcal para cada kg de K_2O. Em seu trabalho, Leach faz referência a um custo adicional de 120 kcal x kg^{-1} de fertilizante correspondente ao transporte marítimo desses produtos.

Em trabalhos relacionados com o que se conhece hoje por agroecologia, Mercier (1978) estabeleceu coeficientes calóricos para N total o valor de 15.247 kcal kg^{-1}, valores muito próximos aos utilizados por Pimentel (2003) que foi de 15.150 kcal kg^{-1}. Para P_2O_5, Mercier (1978) estabeleceu coeficientes calóricos de 3.340 kcal kg^{-1} e para K_2O de 2.320 kcal kg^{-1}.

Em trabalhos relacionados com fenação de espécies forrageiras para alimentação de animais na pecuária leiteira intensiva, Campos (2001) utilizou os coeficientes energéticos apontados por Pellizzi (1992), ou seja, 17.520 kcal kg^{-1} para o nitrogênio, 3.120 kcal kg^{-1} para o P_2O_5 e 2.160 kcal kg^{-1} para o K_2O.

Em trabalhos relacionados com custos energéticos do gás natural, eletricidade, transporte e armazenagem, Lockeretz (1980) estabeleceu valores calóricos para diversos fertilizantes, utilizando dados médios de processos industriais norte-americanos. Os valores atribuídos aos coeficientes calóricos foram de 17.808 kcal kg^{-1} para o N, 2.300 kcal kg^{-1} para o P_2O_5 (superfosfato simples com 20% de P_2O_5), 3.000 kcal kg^{-1} para o P_2O_5 (superfosfato triplo) e 2.328 kcal kg^{-1} para o K_2O.

Estudando custos energéticos na agricultura, Cox e Hartkins (1979) indicaram os valores de 17.600 kcal kg^{-1} para N, 3.190 kcal kg^{-1} para P_2O_5 e 2.200 kcal kg^{-1} para K_2O.

Na conversão das unidades físicas de N total, P_2O_5 e K_2O em equivalentes energéticos, adotaremos os seguintes índices: 17.520 kcal kg^{-1} para o N, índices também adotados por Pellizzi (1992) e por Campos (2001), valores semelhantes aos utilizados por Cox e Hartkins (1979). Para o P_2O_5, adotaremos 3.340 kcal kg^{-1}, índice também utilizado por Mercier (1978) e muito próximo aos índices adotados por Leach (1976). E para o K_2O adotaremos o índice de 2.200 kcal kg^{-1}, também usado por Cox e Hartkins (1979), valores muito próximos aos utilizados por Pellizzi (1992), Campos (2001) e por Shapouri et al. (2002).

2.5.6 Agrotóxicos (herbicida, inseticida)

Bueno et al. (2004) disseram que há uma escassez de dados específicos na literatura sobre coeficientes energéticos de agrotóxicos. Com o objetivo de verificar as variáveis para a sustentabilidade, os mesmos autores realizaram uma avaliação energético-econômica do agroecossistema algodão, adotando os valores médios para os herbicidas fornecidos por Pimentel (1980), que são de 347,9 MJ kg^{-1}.

Pimentel (2003), em aplicações de herbicidas, na razão de 2,10 kg kg^{-1}, encontrou um índice de 442,00 MJ kg^{-1}. Patzek, (2004) adotou valores de 261,00 MJ kg^{-1}, iguais aos adotados por Shapouri et al. (2002). Wang et al. (1997) adotaram valores de 237,30 MJ kg^{-1}.

Para este trabalho de pesquisa adotar-se-á, para os herbicidas, a média dos valores fornecidos pela literatura utilizada, ou seja, o valor de 302 MJ kg^{-1}.

Para os inseticidas, Bueno et al. (2004) adotaram valores de 311,00 MJ kg^{-1}. Pimentel (2003) adotou valores de 442 MJ kg^{-1}. Patzek, (2004) adotou valores de 268,4 MJ kg^{-1}, iguais aos valores adotados por Shapouri et al. (2002). Por sua vez, Wang et al. (1997) adotaram valores de 243,0 MJ kg^{-1}.

Para este trabalho de pesquisa adotar-se-á, para os inseticidas, a média dos valores fornecidos pela literatura comentada, ou seja, o valor de 306,6 MJ kg^{-1}.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Planejamento experimental

3.1.1 Balanço de massas de processo de produção de etanol de mandioca

Objetivando realizar um balanço de massas da produção de etanol de mandioca foram realizados ensaios em escala de bancada no Laboratório de Processo e Laboratório de Análises do CERAT para avaliar a produtividade, fornecer dados para a elaboração dos balanços de energia e consolidar a metodologia do processo.

3.1.1.1 Matéria-prima

Foram coletadas raízes frescas da variedade Fécula Branca com idade de cultivo de 20 meses. Inicialmente procedeu-se a análise centesimal do substrato úmido, determinando-se a umidade, teor de amido, fibra, matéria graxa, açucares redutores, cinzas, proteínas, pH, acidez, cianeto livre e cianeto total.

Para realização da hidrólise utilizaram-se as enzimas α-amilase (TERMAMYL – 120 KNU ml^{-1}) e amiloglucosidase (AMG – 400 AGU ml^{-1}). A primeira etapa da hidrólise foi realizada durante um período de 2h, em temperatura de 90ºC. Dois procedimentos básicos foram adotados para realização da segunda parte do processo: temperatura do hidrolisado à 60^{o}C, durante 5 h; ajustes do pH entre 4,5 e 4,8, usando ácido sulfúrico. A polpa apresentou um pH 6,0 e não foram feitos ajustes. Utilizou-se como inóculo

inicial a Levedura Y905, sendo o mosto fermentescível constituído de 13,2% de açúcares. Os tratamentos posteriores foram conduzidos a partir do pé de cuba.

Para monitorar as concentrações das leveduras foram feitas verificações periódicas em câmera Neubauer, utilizando-se o sistema para análise de imagens com campos de luz polarizada, câmera de vídeo, software tratamento, microscópio binocular e demais acessórios.

Os experimentos fermentativos foram conduzidos em planta piloto, que foi desenvolvida pelo Centro de Raízes e Amidos Tropicais – CERAT/UNESP, que é composta de dois reatores fixados em uma bancada, com capacidade individual de 4,5 litros, dos quais 0,35 litros foram mantidos como pé de cuba na parte inferior. Os reatores são dotados de um sistema de aquecimento e/ou arrefecimento do tipo encamisado, sem agitação e sem contato com o mosto, sendo alimentados por um conjunto de condutores (mangueiras), através dos quais circula água em temperatura controlada.

A determinação da quantidade de água necessária à diluição da massa, originada pela desintegração das raízes de mandioca, foi realizada por tentativas e ajustes, de modo a produzir um substrato de diluição mínima que facilitasse a hidrólise completa do amido e máxima que não comprometesse os custos energéticos necessários a sua realização. O balanço de massa do CO_2 liberado durante o processo de fermentação foi determinado pela diferença entre um mol da massa atômica do amido e um mol da massa atômica do etanol produzido, descontados de uma estimativa de carbono provavelmente imobilizado durante a multiplicação das leveduras. O balanço de massa dos efluentes gerados foi determinado por coleta e medida direta dos resíduos.

3.2 Levantamento de dados de pesquisas sobre o balanço de energias nas culturas da mandioca, cana-de-açúcar e milho.

O presente trabalho foi desenvolvido com base na revisão de publicações relacionadas com as culturas da mandioca, do milho e da cana-de-açúcar (COELHO, 2006; COELHO e FRANÇA, 1995; HOWELER, 1982; LOPES, 1998; MALAVOLTA,1980; MALAVOLTA, 1992; MALAVOLTA e DANTAS, 1987; MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA et al., 1997; MARQUES, 1998; MONTALDO,1979; OKIGBO, 1980; ORLANDO, 1993; POTAFOS, 1996; PRADO et al.,

2002; TANAKA et al., 1979; YAMADA e LOPES, 1999; GEUS,1973; ASHER et al.,1980; LORENZI, 2003; IAC, 2006; TEIXEIRA, 2004; BULL, 1993; COELHO e FRANÇA, 1995).

Os aspectos pesquisados foram a extração, a exportação e a reciclagem dos macronutrientes que são imobilizados no agroecossistema durante o ciclo das culturas. Os valores fornecidos pelos diferentes experimentos foram ajustados usando a proporcionalidade entre o total de macronutrientes extraídos e o total de matéria-prima produzida, projetando esses valores para um mesmo patamar de produtividade, que corresponde a 40 t ha^{-1} para as raízes de mandioca; 100 t ha^{-1} para os colmos de cana-de-açúcar e 9,1 t ha^{-1} para os grãos de milho. Esse procedimento visou estabelecer um valor intermediário que represente a diversidade dos experimentos analisados: diferentes condições climáticas, cultivares, épocas, solos, altitudes e por muitos outros fatores que estiveram envolvidos em cada pesquisa.

Sem valores extremos, a média aritmética se constituiu em parâmetro representativo na definição dos valores que compuseram a base das investigações. Foram feitas comparações entre as quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) extraídos/exportados pela mandioca, pelo milho e pela cana-de-açúcar durante o período de cultivo, bem como as quantidades deixadas no agroecossistema por ocasião da colheita.

Os elementos minerais encontrados na revisão da literatura são apresentados de diversos modos: o fósforo é citado em alguns trabalhos como P e em outros como P_2O_5; o potássio na forma de K ou em K_20; o cálcio em Ca ou CaO e o magnésio na forma de Mg ou MgO. Assim, para converter P_2O_5 em P; K_20 em K; CaO em Ca e MgO em Mg, os valores foram divididos por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66, respectivamente.

Do mesmo modo, para determinar o desempenho da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho, os dados obtidos pela média aritmética foram convertidos em equivalentes energéticos. O mesmo procedimento foi adotado para converter os equivalentes energéticos de P_2O_5 em P; K_20 em K; CaO em Ca e MgO em Mg. Com esse procedimento avaliou-se o total de energia extraída, exportada e reciclada pelas culturas durante o ciclo produtivo e o total de energia disponibilizada em forma de etanol por ocasião da colheita.

Na conversão das unidades físicas de N total, P_2O_5 e K_2O em equivalentes energéticos, utilizaram-se os índices de 17.520 kcal kg^{-1} ou 73,3 MJ kg^{-1} para o N (Campos, 2001); 3.340 kcal kg^{-1} ou 13,9 MJ kg^{-1} para o P_2O_5 (Mercier, 1978) e 2.200 kcal kg^{-1}

ou 9,2 MJ kg^{-1} para o K_2O (Shapouri et al., 2002). Pelos equivalentes de massa atômica resultou em 17.600 kcal kg^{-1} ou 73,3 MJ kg^{-1} para N; 14.58 kcal kg^{-1} ou 6,1 MJ kg^{-1} para o P e 1.826 kcal kg^{-1} ou 7,1 MJ kg^{-1} para K.

Os equivalentes energéticos do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg) foram determinados a partir da proporcionalidade de suas massas com a massa atômica do potássio, por pertencerem ao grupo dos metais alcalinos. Do mesmo modo, o índice energético do enxofre (S) foi determinado a partir da proporcionalidade de sua massa com a massa atômica do fósforo (P) por serem ambos não-metais. Com esse procedimento os equivalentes energéticos adotados para o Ca, Mg e S foram de 1.873 kcal kg^{-1} ou 7,8 MJ kg^{-1}; 1.134 kcal kg^{-1} ou 4,7 MJ kg^{-1}; 1.509 kcal kg^{-1} ou 6,3 MJ kg^{-1}, respectivamente.

A análise energética foi expressa em quilocaloria (kcal) ou megajoule (MJ), sendo caloria entendida como a quantidade de calor necessária para aumentar de 14,5°C para 15,5°C a temperatura de um grama de água, sob pressão atmosférica ao nível do mar. De acordo com Risoud (1999) a unidade utilizada atualmente em estudos de eficiência energética é aquela do Sistema Internacional, ou seja, o Joule (J) e seus múltiplos, principalmente megajoules (MJ). O joule é definido pela energia necessária para mover um objeto por uma distância de um metro contra uma força de 1 Newton (N). É importante ressaltar que os trabalhos e citações apresentados neste trabalho acompanharam a unidade original utilizada pelos respectivos autores (kcal e MJ).

3.3 Pesquisa de campo

3.3.1 Delimitação do sistema para obtenção dos dados de campo

Para efeitos de comparação das energias envolvidas nos processos de produção de etanol das matérias-primas vegetais, mandioca, cana-de-açúcar e milho foi escolhida a região paulista do Vale do Médio Paranapanema, onde os três sistemas de produção estão presentes e por ser um agroecossistema representativo no cultivo e na industrialização da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho. Nessa região predominam latossolos roxos (LR-39%), latossolos vermelho-escuros (LE-48%), podzólicos (7%) e terras roxas estruturadas (4%). O clima é moderadamente úmido, sem estação seca, com precipitação do mês mais seco maior que 30 mm. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18ºC, mas acima de – 3ºC, e a temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC. A

precipitação anual atinge valores médios de 1.260 mm. A probabilidade de ocorrência de geadas é relativamente baixa - cerca de 30% dos anos (PRADO et al., 2003).

A região do Médio Paranapanema, cenário da pesquisa, é constituída por 18 municípios: Assis, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Cruzália, Echaporã, Florínea, Ibirarema, Iepê, Lutécia, Maracaí, Nantes, Oscar Bressane, Palmital, Paraguaçu Paulista, Pedrinhas Paulista, Platina, Quatá e Tarumã. Em 2004, apresentou uma população de 254.737 habitantes, correspondendo a 0,65% do estado de São Paulo, sendo que 91,% dessa população habitam a zona urbana. Os municípios de Assis, Paraguaçu Paulista, Cândido Mota e Palmital concentram 73,% da população da região. A principal base econômica regional é a agricultura e a pecuária.

No cultivo, colheita e transporte das espécies pesquisadas, cada operação foi detalhada no sentido de determinar o número de horas gastas com a mão-de-obra envolvida, a quantidade dos insumos usados e, por fim, a conversão das diversas unidades físicas em unidades energéticas.

A unidade utilizada para o estudo da eficiência energética é a do Sistema Internacional, ou seja, o Joule e seus múltiplos, principalmente megajoules (MJ). Onde: 1 cal = 4,1868 J; 1 cal = 0,0000041868 MJ; 1.000 cal = 1 kcal = 4186,8 J; 1 kcal = 0,0041868 MJ; 1cv = 1HP x $1,014^{-1}$e 1HP = 2,648 10^3 J. A apresentação final dos dados foi aproximada em duas casas decimais.

A safra de mandioca, de cana-de-açúcar e de milho pesquisada refere-se ao ano agrícola 2006/2007 por ser considerada uma safra típica, sem ocorrência significativa de intempéries.

3.3.2 Prospecção dos dados

3.3.2.1 Etapa de produção agronômica da mandioca

As matrizes dos coeficientes técnicos foram elaboradas com base em informações coletadas em maio e junho de 2007, junto aos técnicos da indústria Halotek Fadel, localizada no município de Palmital/SP; aos pesquisadores da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios do Médio Paranapanema (APTA), sediada no município de Assis/SP e aos produtores rurais representantes das tecnologias da região do Médio Paranapanema. Analisou-se a produção da mandioca cultivada com 2 ciclos vegetativos,

produtividade de 33 toneladas por hectare, plantio convencional, aplicação de calcário, adubação (plantio), herbicidas (2 vezes), inseticidas (2 vezes), capina manual (1 vez), capina mecânica (3 vezes) e colheita semi-mecanizada.

Os gastos energéticos com as operações mecanizadas foram calculados a partir do consumo de óleo diesel cujo coeficiente energético médio equivale a 40,64 MJ l^{-1} (WANG et al., 1997; BERTHIAUME et al., 2001, SHAPOURI et al., 2002, PIMENTEL, 2003; PATZEK, 2004). Para a mão-de-obra dessas operações adotou-se o índice de 1,2 MJ h^{-1}, sendo a jornada de trabalho de 8 horas (COMITRE, 1993). Para o material de propagação adotou-se o índice de 494,0 MJ ha^{-1} determinado por Silva et al. (1978). Os conteúdos energéticos do calcário, herbicidas e inseticidas correspondem a 0,2 MJ x kg^{-1}, 302,0 MJ x kg^{-1}, 306,6 MJ x kg^{-1}, respectivamente (BUENO, 2002). Na conversão das unidades físicas em equivalentes energéticos do nitrogênio total, do fósforo e do potássio, utilizaram-se os índices de 73,3 MJ kg^{-1} para o N (CAMPOS, 2001); 13,9 MJ kg^{-1} para o P_2O_5 (MERCIER, 1978) e 9,2 MJ kg^{-1} para o K_2O (SHAPOURI et al., 2002). Para a adubação de cobertura determinou-se o valor de 7,2 MJ kg^{-1}.

Devido à natureza desta pesquisa, cujo foco é a determinação dos *inputs* energéticos das operações de produção e industrialização da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho, objetivando a obtenção do etanol e, devido às múltiplas especificidades envolvidas na determinação da depreciação energética ou do fluxo energético que migra da composição das máquinas e dos equipamentos para os agroecossistemas cultivados (erosão energética) adotamos o valor disponível na literatura, determinado por Bueno (2002), para o agroecossistema milho, que é de 250,5 MJ ha^{-1}.

Devido à intensidade das operações serem diferentes para cada cultivo, os valores foram determinados em função do consumo de combustível para cada espécie. Exemplo: as operações de 1 ha de milho transferem, das máquinas e equipamentos, para o agroecossistema 250,5 MJ ha^{-1} e consomem 76,9 litros de óleo diesel; as operações de 1 ha de mandioca consomem 132,4 litros de óleo diesel. Assim, proporcionalmente, a erosão energética adotada para as operações de cultivo de 1 ha de mandioca é de 431 MJ ha^{-1}.

Nas análises do consumo energético referentes à produção da mandioca adotou-se o termo “preparo de área” para representar a energia da mão-de-obra que é empregada nas operações de preparo do solo como gradagens pesada e leve, a marcação de

carreadores, o levantamento de terraços e a aplicação de calcário. Representa também a energia gasta com o óleo diesel consumido nessas operações.

Do mesmo modo, adotou-se o termo “plantio” para representar a energia da mão-de-obra e do óleo diesel despendidos nas atividades de corte, de preparo, de transporte e de plantio do material de propagação.

O termo “insumos” representa os seguintes itens: calcário, manivas, inseticidas, herbicidas e fertilizantes.

O termo “condução da lavoura” refere-se à energia da mão-de-obra e do consumo de óleo diesel dispendidos nas atividades de capina manual (3x), poda, aplicação de herbicidas (2x), aplicação de inseticidas (2x), cultivador – capina mecânica (3x), adubação de cobertura (1x), dessecação, manutenção de máquinas e equipamentos.

O termo “colheita” reúne as energias empregadas pela mão-de-obra e pelo consumo de óleo diesel nas operações de roçar/afofar, arrancar, despinicar, carregar e transportar as raízes internamente na lavoura.

O termo “transporte até a indústria” refere-se à energia consumida pelo operador do caminhão no transporte da produção de um hectare de mandioca até a indústria, bem como a do óleo diesel consumido para fazê-lo.

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de produção agronômica da mandioca foram utilizados os modelos das Tabelas 16, 17 e 18 dispostas no Apêndice.

3.3.2.2 Etapa de processamento industrial da mandioca

Os dados relativos ao consumo energético das operações industriais dispendido durante o processamento das raízes de mandioca foram obtidos através das especificações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos (motores elétricos, bombas, cevadeiras etc.), produzidos para atender basicamente às indústrias de farinha. Foram os seguintes os pontos de coleta de dados: condução das raízes de mandioca da plataforma de recepção ao lavador-descascador; operações de lavagem e descascamento das raízes; condução das raízes do lavador-descascador ao picador-desintegrador; operações de picagem e desintegração das raízes; processos de hidrólise e sacarificação; fermentação e destilação.

As operações foram determinadas seguindo-se o modelo operacional adotado pela Indústria CORACI, localizada no município de São Pedro do Turvo, SP, que tem por finalidade a produção do etanol a partir da mandioca, do milho e da quirera de arroz. Os dados relativos ao dispêndio energético da mão-de-obra nas diferentes etapas do processamento industrial da mandioca também foram levantados nessa indústria.

Nas análises do consumo energético industrial adotou-se o termo "desintegração/moagem" para as etapas de pesagem, rampa de descarga, rosca transportadora de raízes, pré-lavador e lavador de raízes, correia e esteira transportadora de raízes, tiragem da casquinha, picador de raízes, roscas transportadoras de raiz picada, roscas-sem-fim da caixa alimentadora, cevadeira, preparo do mosto e bombas de transferência.

O termo "hidrólise/sacarificação" inclui as operações de misturadores, bombas de transferência e resfriamento, e agitadores.

Na etapa da "fermentação", além do processo em si, considerou-se o consumo de energia dos agitadores e da bomba de transferência do vinho para as dornas.

Na etapa da "destilação" considerou-se a transferência e agitadores do vinho volante, transferência do vinho para a coluna de destilação, bomba de acionamento do flegma, bomba da vinhaça e bomba do álcool fino, agitador e carregamento do vinhoto, exaustor de caldeira, bombas d'água da caldeira, porta da caldeira e carrinho de lenha que alimenta a caldeira.

O dispêndio energético nas etapas industriais foi relativo ao consumo dos motores elétricos e do vapor fornecido pelas caldeiras. Os valores encontrados foram convertidos em megajoule e são proporcionais ao processamento de 1 tonelada de mandioca e a obtenção de 187,8 litros de etanol. Procedeu-se a conversão do consumo dos motores elétricos de cavalo-vapor para HP, sendo que um cavalo-vapor (cv) equivale a 1,014 HP e 1 HP é igual a 2,684 MJ. Na destilação adotaram-se dois quilos de vapor para cada litro de etanol destilado.

Para hidrolisar 1000 kg de raízes de mandioca foram necessários 1.236,07 MJ.

Para o cálculo do consumo energético referente aos materiais substituídos (serrilhas) durante as operações de processamento industrial da mandioca adotou-se o índice do aço que é de 27 MJ kg^{-1}(YUNG E VANDERGURG, 1994).

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de processamento industrial da mandioca foi utilizado o modelo das Tabelas 19, 20 e 21 dispostas no Apêndice.

3.3.2.3 Etapa de produção agronômica da cana-de-açúcar

As matrizes dos coeficientes técnicos das operações agronômicas de cultivo, colheita e transporte da cana-de-açúcar foram levantadas na sede do Departamento Agrícola da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (ASSOCANA) e na Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio do Médio Paranapanema (APTA), localizadas no município de Assis/SP. Os dados relativos ao cultivo da cana-de-açúcar foram obtidos do seguinte modo: os dados relativos à implantação da lavoura, por ser uma atividade única para os cinco anos subseqüentes de produção, foram rateados em partes iguais para os cinco anos de cultivo. Desse modo, cada ciclo produtivo incorporou um quinto do dispêndio energético correspondente à fase de instalação da lavoura; o gasto energético com a colheita e manutenção das soqueiras foi calculado levando em consideração a produção média dos cinco anos.

As operações referentes à implantação da lavoura foram as seguintes: duas gradagens aradoras, duas gradagens niveladoras, marcação de carreadores, levantamento dos terraços, aplicação de calcário, sulcação/adubação, carregamento/transporte da muda para o plantio, cobrição, aplicação de herbicida e inseticida (cupim e formiga).

Para as operações de colheita e manutenção das soqueiras consideraram-se as seguintes etapas: colheita mecanizada, transbordo, transporte da cana-de-açúcar para a usina, enleiramento da palha, cultivador (subsolador, adubação e cobertura), conservação de carreadores, conservação de estradas, aplicação de herbicida, aplicação aérea de maturador, transporte interno dos insumos, manutenção e transporte dos maquinários.

As atividades referentes ao dispêndio energético do trabalho humano nas operações de implantação e condução do cultivo da cana-de-açúcar foram as seguintes: corte e preparo da muda; descarregamento/esparramamento/repicagem para o plantio; acabamento e recobrimento do material de propagação; aplicação de herbicida e aplicação de inseticidas (formicida e cupinicida); operador da colheitadeira, do transbordo e do caminhão de transporte externo; capina manual, enleiramento da palha, cultivador (subsolador, adubação

e cobertura); conservação dos carreadores; manutenção de estradas; controle de formigas; aplicação de herbicida; aplicação aérea de maturador; transporte interno dos insumos; manutenção e transporte de máquinas.

Os gastos energéticos com as operações mecanizadas foram calculados a partir do consumo de óleo diesel e de etanol, cujos coeficientes energéticos médios equivalem a 40,64 MJ l^{-1} e 23,37 MJ l^{-1}, respectivamente. (WANG et al., 1997; BERTHIAUME et al., 2001, SHAPOURI et al., 2002, PIMENTEL, 2003; PATZEK, 2004). Para a mão-de-obra dessas operações adotou-se o índice de 1,2 MJ h^{-1}, sendo a jornada de trabalho de 8 horas (COMITRE, 1993). Para o material de propagação adotou-se o valor de 480,0 MJ ha^{-1} determinado por Urquiaga et al. (2005), cujo índice corresponde a 30 MJ t^{-1}. Os conteúdos energéticos do calcário, herbicidas e inseticidas correspondem a 0,2 MJ kg^{-1}, 302,0 MJ kg^{-1}, 306,6 MJ kg^{-1}, respectivamente (BUENO, 2002).

Na conversão das unidades físicas de nitrogênio total, fósforo e potássio em equivalentes energéticos utilizou-se o índice de 73,3 MJ kg^{-1} para o N (CAMPOS, 2001); 13,9 MJ kg^{-1} para o P_2O_5 (MERCIER, 1978) e 9,2 MJ kg^{-1} para o K_2O (SHAPOURI et al., 2002). Para o cálculo do transporte até a indústria adotou-se uma distância média de 30 km e uma produtividade de 85 t ha^{-1}.

Para determinar a erosão energética (depreciação) que migra das máquinas e equipamentos para o agroecossistema durante as operações de cultivo e colheita de um hectare de cana-de-açúcar, tomou-se como valor base o consumo de 250,5 MJ ha^{-1} (BUENO, 2002), determinados para o agroecossistema milho. Devido à intensidade das operações serem diferentes para cada cultivo, os valores foram determinados em função do consumo de combustível para a obtenção da matéria-prima (cana-de-açúcar, mandioca e milho). Exemplo: as operações de 1 ha de milho transferem (das máquinas e equipamentos) para o agroecossistema 250,5 MJ ha^{-1} e consomem 76,9 litros de óleo diesel; as operações de 1 ha de cana-de-açúcar consomem 162,27 litros de óleo diesel. Assim, proporcionalmente, a erosão energética adotada para as operações de cultivo de 1 ha de cana-de-açúcar é de 528,6 MJ ha^{-1}.

Nas análises do consumo energético referentes à produção da cana-de-açúcar adotou-se o termo “preparo de área” para representar a energia empregada com mão-de-obra nas operações de preparo do solo, marcação de carreadores, levantamento de terraços,

aplicação de calcário, gradagem pesada e gradagem leve. O termo representa também os gastos com óleo diesel nas operações mecanizadas com gradagens aradoras (2x), gradagens niveladoras (2x), marcador dos carreadores e levantamento dos terraços.

Do mesmo modo, adotou-se o termo “plantio” para representar a energia com mão-de-obra empregada nas atividades de corte e preparo de mudas, descarregamento, esparramamento, repicagem, acabamento e recobrimento do material de propagação. O termo representa também os gastos energéticos com o óleo diesel nas operações de aplicação de calcário, sulcação/adubação, carregamento e transporte das mudas, e cobrição.

O termo “insumos” representa os itens relativos à implementação da lavoura que compreende o calcário, mudas, inseticidas, herbicidas, formicidas, cupinicidas e fertilizantes. Representa também os itens relacionados à manutenção da soqueira, que são: herbicidas, adubação de soqueira e maturadores.

O termo “condução da lavoura”, referente à mão-de-obra aborda as seguintes operações: aplicação de herbicidas, inseticidas (cupinicida e formicida), capina manual, enleiramento da palha, cultivador (subsolador, adubação de cobertura), conservação de carreadores, manutenção de estradas, transporte interno dos insumos, manutenção e transporte de máquinas (caminhão, prancha, graxa, abastecimento). O termo “condução da lavoura” referente ao consumo de óleo diesel refere-se às operações mecanizadas de implantação e manutenção das soqueiras, ou seja: aplicação de herbicidas, enleiramento da palha, cultivador (subsolador, adubação de cobertura), conservação de carreadores, manutenção de estradas, aplicação aérea do maturador, transporte interno de insumos e manutenção e transporte de máquinas (caminhão, prancha, graxa, abastecimento).

O termo “colheita” reúne as energias empregadas pela mão-de-obra com as operações da colheitadeira e do transbordo, bem como a do óleo diesel consumido nessas operações.

O termo “transporte até a indústria” refere-se à energia consumida pelo operador do caminhão no transporte da produção de um hectare de cana-de-açúcar até a indústria, bem como a do óleo diesel consumido para fazê-lo.

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de produção agronômica da cana-de-açúcar foi utilizado o modelo das Tabelas 22, 23 e 24 dispostas no Apêndice.

3.3.2.4 Etapa de processamento industrial da cana-de-açúcar

Os dados relativos ao consumo energético das operações industriais, dispendido durante o processamento da cana-de-açúcar foram levantados na Usina Pau D´Alho e na Usina Nova América, no período de janeiro a julho de 2007, adotando-se a média dos valores encontrados nas duas usinas. Os dados foram obtidos por meio das sucessivas medições, realizadas durante a operacionalização das atividades, por meio das entrevistas com os responsáveis de cada seção e pelas anotações de controle realizadas pelos diferentes setores.

A agroindústria canavieira Pau D´Alho S/A localiza-se no município de Ibirarema/SP, eqüidistante 35 km dos municípios de Assis e Ourinhos/SP. Os valores foram obtidos com referência à capacidade máxima de processamento das destilarias que é de trezentas toneladas de cana-de-açúcar por hora (300 t h^{-1}) para a indústria Pau D´Alho e de quinhentas toneladas (500 t h^{-1}) para a indústria Nova América, sendo esta localizada no bairro Água D´Aldeia s/n, município de Tarumã/SP.

O itinerário percorrido pela matéria-prima durante o processamento industrial é o seguinte: a cana-de-açúcar chega à usina através de caminhões transportadores onde é pesada e examinada por duas sondas verticais de um laboratório de análises onde são retiradas amostras para verificação do teor de sacarose, de fibras e de minerais externos aderidos ao material (terra). Os dados são examinados no local e repassados aos demais setores para as providências necessárias às demais operações. Aproximadamente sessenta por cento (60%) da cana-de-açúcar examinada foi colhida mecanicamente e 40% de forma manual.

Após os procedimentos iniciais de pesagem, amostragem e análise laboratorial, a cana-de-açúcar é descarregada sobre a mesa alimentadora, com auxilio de um hilo, onde é lavada. São três as mesas alimentadoras para realizar essa operação: a primeira com declividade de 15^{o} alimenta uma segunda com declividade de 45^{o}; uma terceira com

declividade de 50^{o} é utilizada basicamente para recepcionar a cana picada, colhida mecanicamente, a qual não necessita ser lavada.

Antes de chegar à moenda para extração do caldo, a cana lavada é conduzida ao picador e ao desfibrador, ambos com finalidade de homogeneizar o material e facilitar a extração posterior do caldo pelas moendas. O material desfibrado, antes de ser submetido à extração, passa por um eletroímã, que tem a função de atrair os metais e não permitir que os mesmos sejam conduzidos às moendas, causando-lhes desgastes.

A extração do caldo, a partir da cana desfibrada, é realizada por moendas que operam em uma seqüência de quatro (4) ternos, na Usina Pau D´Alho, e de seis (6) ternos na Usina Nova América; cada um dos ternos é constituído de 4 rolos (2 rolos inferiores, 1 rolo superior e um rolo de pressão). Nos três primeiros ternos, o esmagamento das fibras é realizado com auxilio do próprio caldo, cujo papel é hidratar as fibras para facilitar a continuidade da extração nos ternos subseqüentes. No último terno, o bagaço é hidratado com água limpa, permitindo a remoção do caldo aderido às fibras. Para evitar a contaminação, o tempo entre a colheita da cana-de-açúcar e a extração do caldo fermentescível não ultrapassa a setenta e duas horas (72 h).

Foram os seguintes os pontos de coleta de dados durante o processamento da cana-de-açúcar: nas balanças de pesagem (2); nas sondas verticais (2); nos hilos (2); nas esteiras metálicas (2); nas mesas alimentadoras (3); no picador de cana; no tambor alimentador; no desfibrador da cana picada; no espalhador de cana desfibrada; no eletroímã; nas esteiras de arraste de uma moenda para outra; nas moendas (4 ternos com 16 rolos na usina Pau D´Alho e 6 ternos com 24 rolos na usina Nova América); na peneira rotativa (filtro do caldo); no tratamento do caldo (aquecimento/resfriamento/decantação); no processo de fermentação; na destilação do vinho e nos sistemas de bombeamento necessários à lavagem da cana-de-açúcar, condução do caldo até as dornas e condução do vinho para a coluna de destilação.

Nas análises do consumo energético industrial adotou-se o termo “desintegração/moagem” para as etapas de pesagem, sondas verticais, hilos, esteiras metálicas, mesas alimentadoras, sistemas de bombeamento de água para lavagem, picador, tambor alimentador, desfibrador, espalhador da cana-de-açúcar desfibrada, esteira de transporte da

cana-de-açúcar desfibrada, eletroimã, esteira de arraste de uma moenda para outra, moendas, sistema de bombeamento de água para o último conjunto de moendas.

O termo “hidrólise/sacarificação” foi designado para as operações de tratamento do caldo (esterilização por aquecimento, resfriamento e decantação), sistema de bombeamento do caldo até as dornas.

Na etapa da “fermentação”, além do processo em si, considerou-se o consumo de energia dos agitadores e da bomba de transferência do vinho para as dornas.

Na etapa da “destilação” considerou-se a transferência e agitadores do vinho volante, transferência do vinho para a coluna de destilação, bomba de acionamento do flegma, bomba da vinhaça e bomba do álcool fino, agitador e carregamento do vinhoto, exaustor de caldeira, bombas d’água da caldeira e esteira para o transporte de bagaço.

O dispêndio energético nas etapas industriais foi relativo ao consumo dos motores elétricos e do vapor fornecido pelas caldeiras. Os valores encontrados foram convertidos em megajoule e são proporcionais ao processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar e a obtenção de 84,7 litros de etanol. Procedeu-se a conversão do consumo dos motores elétricos de cavalo-vapor para HP, sendo que 1 cv equivale a 1,014 HP e 1 HP é igual a 2,684 MJ.

No tratamento do caldo adotou-se 500 kg de vapor por uma tonelada de cana-de-açúcar processada, onde 500 kg de vapor equivalem a 1.172,3 MJ. Na destilação adotou-se 2 kg de vapor para cada litro de etanol destilado.

Para o cálculo do consumo energético referente aos materiais substituídos (camisas, rolos, soldas) durante as operações de processamento industrial da cana-de-açúcar adotou-se o índice do aço que é de 27 MJ kg^{-1}(YUNG E VANDERGURG, 1994).

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de processamento industrial da cana-de-açúcar foram utilizados os modelos das Tabelas 25, 26 e 27 dispostas no Apêndice.

3.3.2.5 Etapa de produção agronômica do milho

As matrizes dos coeficientes técnicos das operações agronômicas de cultivo, colheita e transporte do milho de primeira safra foram levantadas na COOPERMOTA, em Cândido Mota, na Cooperativa Agrícola de Pedrinhas Paulista (CAP), em Pedrinhas

Paulista, na Agência Paulista de Teconologia do Agronegócio do Médio Paranapanema (APTA) e no Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR/CATI), localizado no município de Assis, SP.

As operações de implantação e condução da lavoura foram as seguintes: dessecação, manutenção de carreadores, manutenção do terraço, aplicação de calcário, plantio/adubação, adubação de cobertura, duas aplicações de herbicida, duas aplicações de inseticida, colheita mecanizada, manutenção e transporte de máquinas (caminhão, graxa, prancha, abastecimento etc), transporte interno de insumos e transporte externo (grãos até a indústria). O dispêndio energético referente à mão-de-obra foi calculado sobre as mesmas atividades citadas.

Os gastos energéticos das operações mecanizadas foram calculados a partir do consumo de óleo diesel, cujo coeficiente energético médio equivale a 40,64 MJ l^{-1} (WANG et al., 1997; BERTHIAUME et al., 2001, SHAPOURI et al., 2002, PIMENTEL, 2003; PATZEK, 2004). Para a mão-de-obra dessas operações adotou-se o índice de 1,2 MJ h^{-1}, sendo a jornada de trabalho de 8 horas (COMITRE, 1993). Para o material de propagação adotou-se o índice de 33,2 MJ kg^{-1} utilizado por Bueno (2002), por Pimentel et al. (1973) e por Beber (1989), correspondendo a 598,1 MJ ha^{-1}. Os conteúdos energéticos do calcário, herbicidas e inseticidas correspondem a 0,2 MJ kg^{-1}, 302,0 MJ kg^{-1}, 306,6 MJ kg^{-1}, respectivamente (BUENO, 2002).

Na conversão das unidades físicas em equivalentes energéticos do nitrogênio total, do fósforo e do potássio utilizou-se o índice de 73,3 MJ kg^{-1} para o N (CAMPOS, 2001); 13,9 MJ kg^{-1} para o P_2O_5 (MERCIER, 1978) e 9,2 MJ kg^{-1} para o K_2O (SHAPOURI et al., 2002). Para a adubação de cobertura (Uréia-NH_4-45%N) determinou-se o valor de 73,35MJ kg^{-1} de nitrogênio.

Para o calculo da energia que migra (depreciação) das máquinas e equipamentos para o agroecossistema milho, durante as fases de cultivo e colheita mecanizada, adotamos o valor de 250,5 MJ ha^{-1} (BUENO, 2002).

Para o cálculo do transporte até a indústria adotou-se uma distância média de 30 km e uma produtividade de 6 t ha^{-1}.

Nas análises do consumo energético referentes à produção do milho adotou-se o termo “preparo de área” para representar a energia da mão-de-obra empregada nas

operações de dessecação, manutenção de carreadores, manutenção de terraços e aplicação de calcário, bem como a energia do óleo diesel consumido nessas operações.

Do mesmo modo, adotou-se o termo “plantio” para representar a energia da mão-de-obra e do óleo diesel dispendidos nas atividades de tratamento das sementes e na adubação de semeadura.

O termo “insumos” representa os seguintes itens: calcário, sementes, inseticidas, formicidas, herbicidas e fertilizantes.

O termo “condução da lavoura” refere-se à energia da mão-de-obra e do consumo de óleo diesel dispendidos nas atividades com o uso do cultivador, aplicação de formicida, aplicação de inseticida (2x), aplicação de herbicida (2x), manutenção e transporte de máquinas, transporte interno de insumos, adubação de cobertura, manutenção e transporte (caminhão, graxa, prancha, abastecimento).

O termo “colheita” reúne as energias empregadas pela mão-de-obra e pelo consumo de óleo diesel nas operações de colheita mecanizada.

O termo “transporte até a indústria” refere-se à energia consumida pelo operador do caminhão no transporte da produção de um hectare de milho até a indústria, bem como a do óleo diesel consumido para fazê-lo.

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de produção agronômica do milho foi utilizado o modelo das Tabelas 28, 29 e 30 dispostas no Apêndice.

3.3.2.6 Etapa de processamento industrial do milho

A matriz dos coeficientes técnicos do processamento industrial do milho foi elaborada com base em medições e informações coletadas durante os meses de agosto e setembro, 2007.

Os dados relativos ao consumo energético das operações industriais, dispendidos durante o processamento dos grãos de milho, foram obtidos através das especificações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos (motores elétricos, bombas, moinhos etc.). Foram os seguintes os pontos de coleta de dados: pesagem, condução dos grãos de milho para a moagem, moagem, roscas espirais de condução do milho e do fubá, diluição do fubá, hidrólise e sacarificação, fermentação e destilação. As operações foram determinadas

seguindo-se o modelo operacional adotado pela indústria CORACI, localizada no município de São Pedro do Turvo, SP, que tem por finalidade a produção do etanol a partir da mandioca, do milho e da quirera de arroz. Os dados relativos ao dispêndio energético da mão-de-obra empregada nas diferentes etapas do processamento industrial, também foram levantados nessa indústria.

Nas análises do consumo energético industrial adotou-se o termo "desintegração/moagem" para as etapas de pesagem, transporte por rosca espiral dos grãos e moagem.

O termo "hidrólise/sacarificação" inclui as operações de esteira de fubá, diluição e bomba de fubá diluído, misturadores, bombas de transferência e resfriamento e agitadores.

Na etapa da "fermentação", além do processo em si, considerou-se o consumo de energia dos agitadores e da bomba de transferência do vinho para as dornas.

Na etapa da "destilação" considerou-se a transferência e agitadores do vinho volante, transferência do vinho para a coluna de destilação, bombas de acionamento do flegma, bombas da vinhaça e bombas do álcool fino, agitador e carregamento da vinhaça, exaustor , bombas d'água, porta e carrinho de lenha da caldeira.

O dispêndio energético nas etapas industriais foi relativo ao consumo dos motores elétricos e do vapor fornecido pelas caldeiras. Os valores encontrados foram convertidos em megajoules e são proporcionais ao processamento de uma tonelada de grãos de milho e a obtenção de 330 litros de etanol. Procedeu-se a conversão do consumo dos motores elétricos de cavalo-vapor para HP, sendo que 1 cv equivale a 1,014 HP e 1 HP é igual a 2,684 MJ. Para hidrolisar 1.000 kg de grãos de milho foram necessários 1.851 MJ. Na destilação adotou-se 2 kg de vapor para cada litro de etanol destilado.

Para o levantamento e a sistematização dos dados das operações de processamento industrial do milho foi utilizado o modelo das Tabelas 31 e 32 dispostas no Apêndice. E para o levantamento das informações referentes ao gasto energético empregado na manutenção dos equipamentos e no preparo do mosto fermentescível, das matérias-primas mandioca, da cana-de-açúcar e do milho foi utilizado os modelos dispostos nas Tabelas 21 e 27 do Apêndice, que é adaptado para sistematizar os dados referentes à reposição de material e ao consumo de eletricidade demandados durante o processamento industrial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Antecedentes da Pesquisa

Na primeira parte dos antecedentes da pesquisa são apresentados, na Tabela 4, os resultados da análise centesimal de raiz de mandioca da variedade "Fécula Branca". Do mesmo modo, na Figura 4 são apresentados os resultados do estudo sobre o balanço de massa do etanol, da água, do CO_2 e dos efluentes gerados durante o processamento industrial do material em análise e permitem avaliar o desempenho dessa matéria-prima amilácea na produção de etanol, bem como os demais quantitativos gerados no processo.

4.1.1 Ensaios laboratoriais do balanço de massas

Tabela 4. Análise centesimal de raiz da variedade Fécula Branca.

Umidade	62,00%
Amido	33,01%
Fibra	1,07%
M. graxa	0,14%
Açúcar redutor	1,99%
Cinzas	0,50%
Proteínas	0,60%
p.H	6,17
Acidez	0,83%
Cianeto livre	53,62 mg kg^{-1}
Cianeto Total	9,73 mg kg^{-1}

Para facilitar o acompanhamento e dar suporte à pesquisa de campo, os resultados são apresentados ao modo de "modelo de compartimentos" dimensionado para uma tonelada de raízes de mandioca (Figura 4).

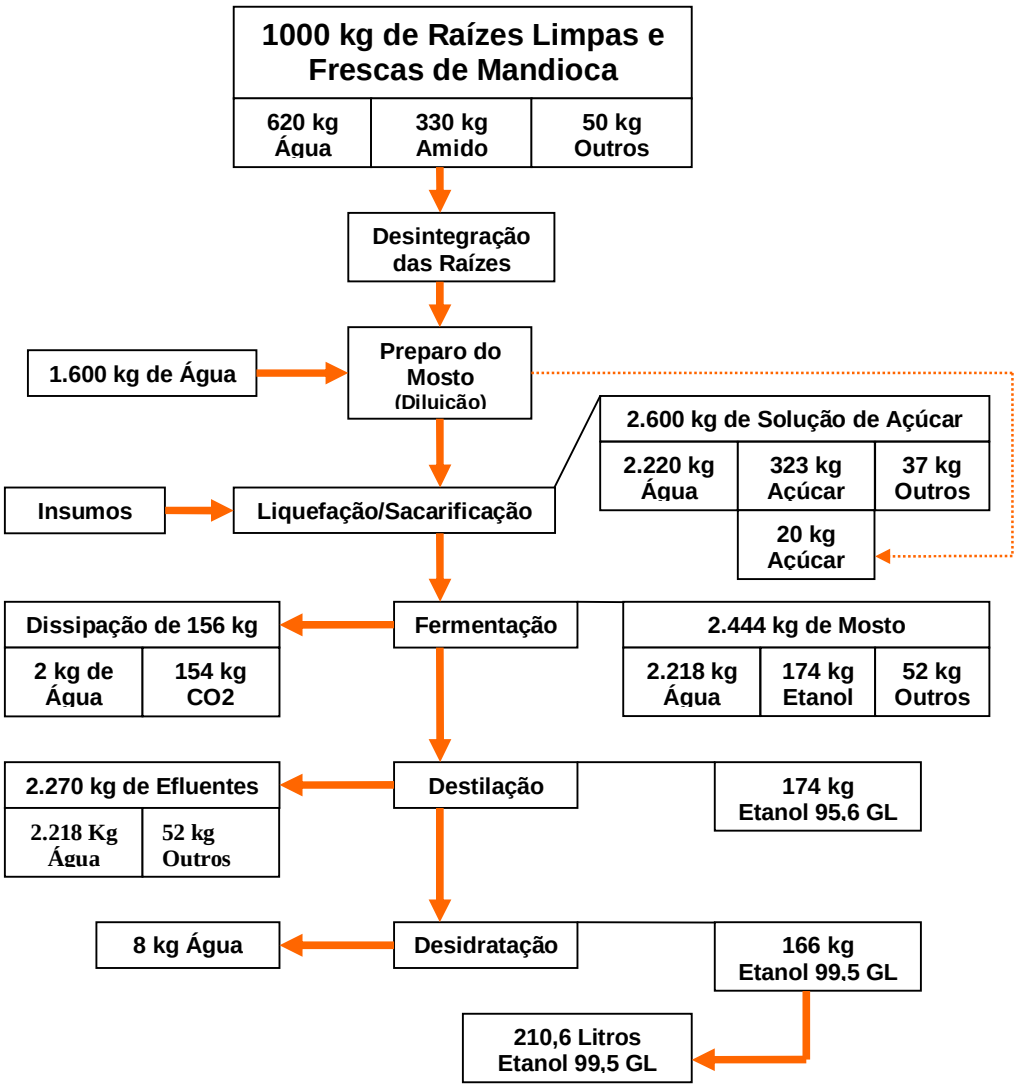

Figura 4. Balanço de massa do etanol, da água, do CO_2 e dos efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de álcool etílico.

Assim, em 1000 kg de mandioca seriam encontrados 330 kg de amido e 20 kg de açúcares. Na realização da hidrólise de 330 kg de amido seriam necessários 686,4 ml da enzima α-amilase (TERMAMYL – 120 KNU ml^{-1}) e 206,25 ml da enzima

amiloglucosidase (AMG – 400 AGU ml^{-1}). Para a multiplicação das leveduras, o mosto receberia uma complementação de nutrientes, nas seguintes proporções: 349,3 ml de uréia (200mg ml^{-1}), 349,3 ml de superfosfato (200mg ml^{-1}), 349,3 ml de magnésio (20mg ml^{-1}) e 349,3 ml de adubo foliar líquido (5mg ml^{-1}) todos diluídos em 2.600 litros da solução de açúcares resultantes do processo de sacarificação. Cada litro de mosto, 13,2 % de glicose, demandou 25 g de levedura Y905.

Determinou-se que a quantidade mínima de água necessária para bom funcionamento dos processos de sacarificação, agitação sem esforço dos reatores e facilitação da circulação do vinho pelo interior da coluna de destilação é de 1,6 litros de água para cada quilograma de massa das raízes desintegradas (1,6 kg H_2O kg^{-1}).

A água adicionada para fazer a diluição da massa ralada, somada àquela contida naturalmente nos tecidos das raízes de mandioca (62%) produziu efluentes na ordem de 2,27 kg para cada quilograma de raízes desintegradas (2,27 kg efluentes kg^{-1}). Para cada quilograma de massa produzida pela desintegração das raízes de mandioca foram obtidas 166 gramas de etanol, 99,5 GL (166g etanol kg^{-1}).

Durante o processo de fermentação de um quilograma de raízes desintegradas de mandioca foram gerados 154 gramas de CO_2 (154g CO_2 kg^{-1}). Houve também uma perda de H_2O por dissipação que é provocada pelo borbulhamento do CO_2 durante o processo de fermentação. Essas perdas foram na ordem de 0,002% (2 l de H_2O 1000 kg^{-1}).

O balanço da massa de H_2O, do CO_2 e dos efluentes; a quantidade de enzimas, leveduras e tratamentos projetados para o processamento industrial de 1000 kg de raízes de mandioca, informam a quantidade e o modo pelo qual os recursos naturais são utilizados durante o processo de obtenção do etanol. Os dados obtidos ajudam a dimensionar o consumo de água, a geração de gás carbônico, a produção de resíduos e servem de parâmetros para proceder aos ajustes necessários para alcançar bons rendimentos e para minimizar os impactos sobre os recursos naturais e o meio ambiente. Em se tratando da produção de energia limpa ou de reduzido impacto ambiental, os resultados encontrados sinalizam que a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um recurso amiláceo de amplo espectro potencial.

4.1.2 Síntese da extração, exportação e reciclagem de nutrientes/energia pelas culturas da cana-de-açúcar, milho e mandioca.

Nessa segunda parte dos antecedentes da pesquisa são apresentados, nas Figuras 5 e 6 e na Tabela 5, os resultados dos estudos sobre a remoção, a exportação e a reciclagem de nutrientes/energia imobilizados durante o ciclo produtivo da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho. Os resultados estão apresentados na Tabela 14 do Apêndice e permitem avaliar o desempenho dessas culturas na produção de biomassas e os impactos produzidos por cada uma delas no agroecossistema. As quantidades de macronutrientes/energia extraídas, exportadas e devolvidas ao solo durante o ciclo produtivo são atributos específicos de cada espécie e informam o modo pelo qual elas se relacionam com o agroecossistema onde são cultivadas.

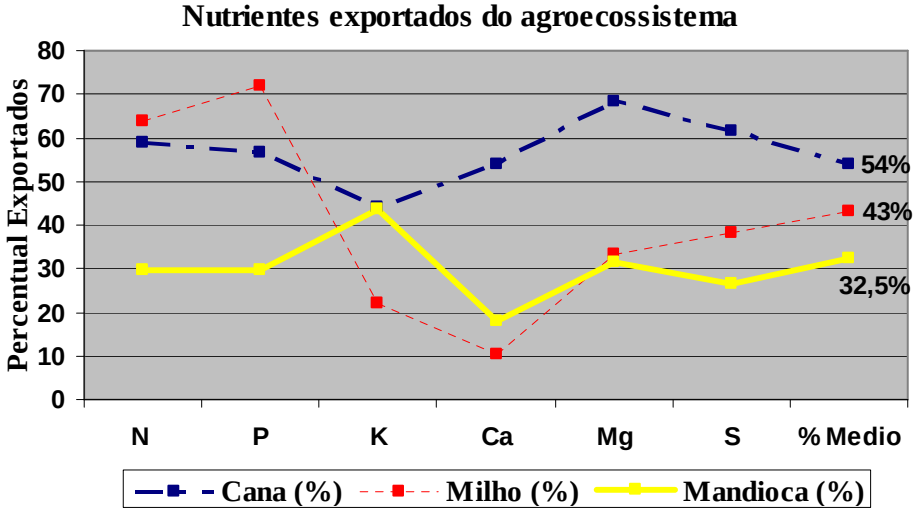

Figura 5. Macronutrientes exportados pela cana-de-açúcar, pelo milho e pela mandioca.

No que se refere à exportação dos nutrientes, por ocasião da colheita da mandioca, observou-se que o potássio é o elemento mais exportado pelas raízes (43,5%), seguindo-se o magnésio (31,5%), o nitrogênio e o fósforo (29,7%). O enxofre (23%) e o cálcio (18%) são os elementos menos exportados. A incorporação dos restos culturais recicla a maior parte dos nutrientes extraídos do agroecossistema durante o ciclo de cultivo da mandioca. Ou seja, a permanência da parte aérea no agroecossistema recicla, nele, parte significativa do

cálcio (82%), do enxofre (77%), do nitrogênio e do fósforo (70,25%), boa parte do magnésio (68,5%) e boa parte do potássio (56,5%), extraídos.

No que se refere à exportação dos macronutrientes, por ocasião da colheita da cana-de-açúcar, observou-se que grande parte do magnésio é exportada pelos colmos (68,5% do Mg extraído), seguindo-se do enxofre (61,5%), do nitrogênio (59%), do fósforo (56,5%), do cálcio (54%) e do potássio (44%). No que se refere à reciclagem dos nutrientes da cana-de-açúcar no solo, observou-se que através da decomposição da palha e das pontas podem ser devolvidos boa parte do potássio (56%), seguindo-se do cálcio (46%), do fósforo (43%), do nitrogênio (41%), do enxofre (38,%) e do magnésio (31,5%). Esses valores, entretanto, são proporcionalmente menores do que aqueles devolvidos pela cultura da mandioca.

No que se refere à exportação dos nutrientes pela colheita do milho, observou-se que o fósforo é quase todo exportado para os grãos (72 % do P extraído), seguindo-se do nitrogênio (64 %), do enxofre (38 %), do magnésio (33 %), do potássio (22 %) e do cálcio (10 %). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo somente uma pequena parte do fósforo e do nitrogênio. No entanto, devolve boa parte do cálcio (90%), potássio (78%), magnésio (67%) e enxofre (62%), contidos na palhada. De modo geral (Figura 5), a cultura do milho exporta, através dos grãos, 43% dos nutrientes extraídos do agroecossistema e devolve a este 57%. A cana-de-açúcar exporta, através dos colmos, 54% dos nutrientes extraídos do agroecossistema de cultivo e a mandioca exporta, através das raízes, apenas 32% dos nutrientes extraídos.

Entre os cultivos examinados (Figura 6), a mandioca é a cultura que mais extrai macronutrientes do solo (672 kg ha^{-1}), a que mais recicla através dos compostos orgânicos deixados (453 kg ha^{-1}) e a que menos exporta macronutrientes do agroecossistema onde é cultivada (219 kg ha^{-1}). A cana-de-açúcar, ao contrário da mandioca, é o cultivo que menos extrai (546 kg ha^{-1}), o que menos recicla (251 kg ha^{-1}) e a que mais exporta macronutrientes do solo (295 kg ha^{-1}). O cultivo do milho tem comportamento intermediário: extrai menos macronutrientes do que a mandioca e mais do que a cana-de-açúcar (619 kg ha^{-1}); recicla menos do que a mandioca e mais do que a cana-de-açúcar (351 kg ha^{-1}); exporta mais macronutrientes do que a mandioca e menos do que a cana-de-açúcar (268 kg ha^{-1}).

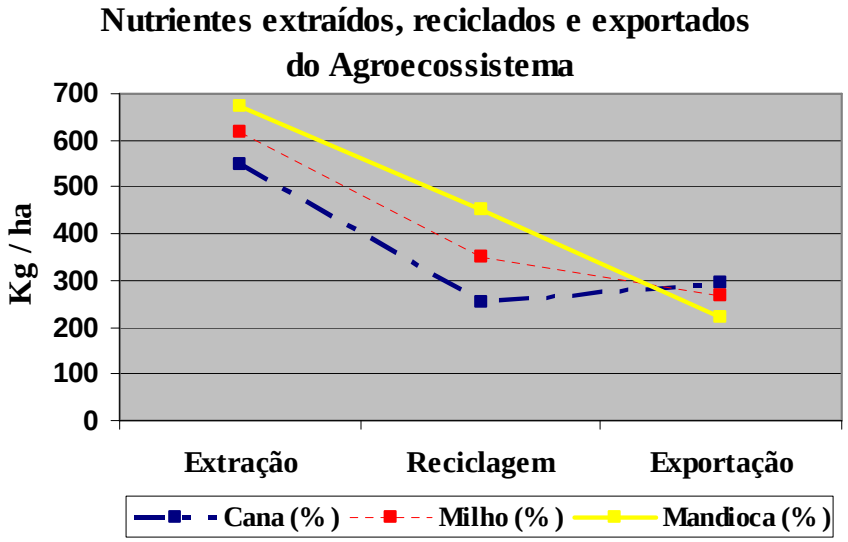

Figura 6. Macronutrientes extraídos, reciclados e exportado pela cana-de-açúcar, pelo milho e pela mandioca.

Na Tabela 5 estão representados os equivalentes energéticos dos macronutrientes extraídos e exportados dos agroecossistemas de cultivo da cana-de-açúcar, da mandioca e do milho, bem como as energias recicladas.

Tabela 5. Energia extraída, exportada e reciclada pelos elementos minerais e sintetizada do etanol.

CULTIVOS	Extração (MJ ha^{-1})	Exportação (MJ ha^{-1})	Reciclagem (MJ ha^{-1})	Etanol (MJ ha^{-1})
Cana-de-açúcar	14.685,36	8.430,04	6.254,96	184.704,9
Milho	20.125,7	11.923,73	8.201,97	67.800,2
Mandioca	20.172,29	6.131,16	14.041,13	184.704,9

Dos 20.172,29 MJ ha^{-1} (Tabela 5) extraídos pela mandioca durante o ciclo produtivo, 14.041,13 MJ ha^{-1} são devolvidos ao agroecossistema em forma de compostos orgânicos, que podem se traduzir em melhorias na estrutura do solo, na manutenção dos fluxos de água, no fornecimento de energias para a cadeia dos organismos decompositores, entre outros. Os outros 6.131,16 MJ ha^{-1} são utilizados fora do sistema.

Apesar de a cana-de-açúcar extrair menos energia do que a mandioca para realizar o ciclo produtivo (14.685,36 MJ ha^{-1} contra 20.172,29 MJ ha^{-1}), recicla menos e exporta mais energias que esta: (6.254,96 MJ ha^{-1} contra 14.041,13 MJ ha^{-1}) e (8.430,04 MJ ha^{-1} contra 6.131,16 MJ ha^{-1}), respectivamente. O milho, por outro lado, é o cultivo que extrai 20.125,70 MJ ha^{-1}, devolve 8.201,97 MJ ha^{-1} e exporta mais energia do que as demais (11.923,73 MJ ha^{-1}).

Observou-se que no balanço entre a energia contida nos macronutrientes exportados e no etanol produzido (Tabela 5) que a mandioca exporta 6.131, 16 MJ ha^{-1} de energia pelos macronutrientes para cada 184.704,9 MJ ha^{-1} produzidos na forma de etanol. Ou seja, 3,3% da energia contida no álcool produzido têm origem nos macronutrientes exportados. A cana-de-açúcar, para produzir a mesma equivalência energética em etanol (184.704,9 MJ ha^{-1}), exporta do agroecossistema 8.430,04 MJ ha^{-1}, ou seja, exporta 4,6% da energia que está contida no etanol produzido. Com a cultura do milho a relação se distancia ainda mais, ou seja, para cada 11.923,73 MJ ha^{-1} de energia exportada pelos grãos, 67.800,3 MJ ha^{-1} são produzidas na forma de etanol. Isso significa que 17,6% do total da energia produzida pelo milho têm origem nos macronutrientes exportados do agroecossistema.

4.1.3 Pesquisa de Campo

4.1.3.1 Energias investidas na produção agrícola da matéria-prima

4.1.3.1.1 Custo energético da produção agrícola da matéria-prima

Os resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 7 referem-se ao custo energético das operações de produção de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho.

Tabela 6. Demonstrativo do custo energético **(MJ ha^{-1})** para a produção de um hectare da matéria-prima

OPERAÇÕES	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho
Preparo da área	722,38	1.648,13	762,97
Plantio	329,10	487,10	423,62
Insumos	7.239,00	3.403,46	12.109,29
Condução da lavoura	1.922,35	862,74	1.293,08
Colheita	1.900,77	2.025,34	609,60
Transporte até a indústria	1.729,60	670,56	185,28
Drenagem energética	527,70	431,00	250,00
Total do consumo (MJ ha^{-1})	**14.370,90**	**9.528,33**	**15.633,83**

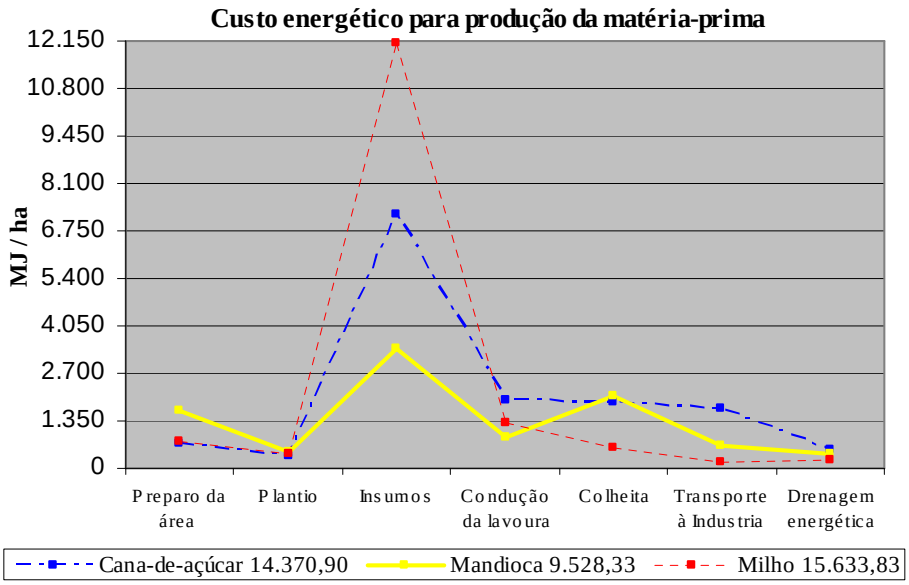

Figura 7. Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ ha^{-1}) para produção de um hectare da matéria-prima

Nas operações de preparo de área a mandioca apresentou um consumo energético de 1.648,13 MJ ha^{-1}, revelando-se superior às demais matérias-primas analisadas (Tabela 6). Em relação à cana-de-açúcar, o dispêndio energético apresentou-se mais elevado porque as atividades de preparo de área dessa cultura representam apenas um quinto do valor real (722,38 MJ ha^{-1}), devido às características da atividade que demandam apenas um preparo de área para cinco colheitas consecutivas. Ou seja, o dispêndio energético (Tabela 6) de 722,38 MJ ha^{-1} para o preparo de área da cana-de-açúcar é resultado do rateio, em partes iguais, para os cinco anos subseqüentes da atividade. O cultivo da mandioca também consome

mais energia no preparo de área do que o cultivo do milho: 1.648,13 MJ ha^{-1} e 722,38 MJ ha^{-1}, respectivamente. A razão dessa discrepância está no preparo da área do milho que, na região do Médio Paranapanema, é realizado no sistema de "plantio direto" que dispensa várias operações.

Nas atividades referentes à condução da lavoura, a mandioca apresentou um dispêndio energético inferior ao da cana-de-açúcar e ao do milho: 862,74 MJ ha^{-1}, 1.922,35 MJ ha^{-1} e 1.293,08 MJ ha^{-1}, respectivamente. Entretanto, nas operações de colheita, a mandioca apresenta um dispêndio energético superior aos demais cultivos, principalmente em relação ao cultivo do milho. As operações mecânicas de roçagem/afofamento e o emprego intensivo de mão-de-obra nas atividades de arrancar, coletar, amontoar e de encher os *bag* consomem juntas 2.025 MJ ha^{-1}. A cana-de-açúcar e o milho consumiram nas operações de colheita 1.900,77 MJ ha^{-1} e 609,60 MJ ha^{-1}, respectivamente.

Nas operações de transporte da matéria-prima para as indústrias de processamento, os valores se mostraram proporcionais à massa transportada. Assim, a cana-de-açúcar apresentou o maior custo energético (1.729,6 MJ ha^{-1}), pois foi necessário transportar 85 toneladas de massa. O transporte de 33 toneladas de mandioca, referente ao cultivo de 1 hectare da matéria-prima, teve um dispêndio energético de 670,56 MJ ha^{-1}. O transporte até a indústria de 6 toneladas de grãos de milho, referentes ao cultivo de 1 hectare da matéria-prima, consumiram 185,28 MJ ha^{-1}.

A diferença mais representativa entre os cultivos examinados revelou-se no consumo de energia dos insumos utilizados para produção da mataria-prima. O cultivo de 1 hectare de mandioca apresentou um dispêndio energético de 3.403,46 MJ ha^{-1}. Para cultivar 1 hectare de cana-de-açúcar e de milho foram consumidos 7.239,00 MJ ha^{-1} e 12.109,29 MJ ha^{-1}, respectivamente.

Do ponto de vista do consumo energético requerido em todo o processo de produção das matérias-primas, a mandioca apresentou o menor dispêndio (9.528,33 MJ ha^{-1}). Os cultivos da cana-de-açúcar e do milho consumiram de modo semelhante e bem mais do que a mandioca: 14.370,90 MJ ha^{-1} e 15.633,83 MJ ha^{-1}, respectivamente.

4.1.3.1.2 Custo energético na produção agrícola de um litro de etanol

Os resultados apresentados na Tabela 7 e na Figura 8 se referem ao custo energético total do litro de etanol, apresentado em cada uma das operações agronômicas de cultivo (preparo da área, plantio, insumos, condução da lavoura, colheita, transporte à indústria e drenagem energética) das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho.

Tabela 7. Demonstrativo do custo energético (MJ l^{-1}) para produzir 1 litro de etanol nas principais operações agronômicas de produção da matéria-prima

OPERAÇÕES	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho
Preparo de área	0,10	0,27	0,39
Plantio	0,05	0,08	0,21
Insumos	1,00	0,55	6,12
Condução da lavoura	0,27	0,14	0,65
Colheita	0,26	0,33	0,31
Transporte a Indústria	0,24	0,11	0,09
Drenagem energética	0,07	0,07	0,13
Custo energético	**1,99 MJ l^{-1}**	**1,54 MJ l^{-1}**	**7,90 MJ l^{-1}**

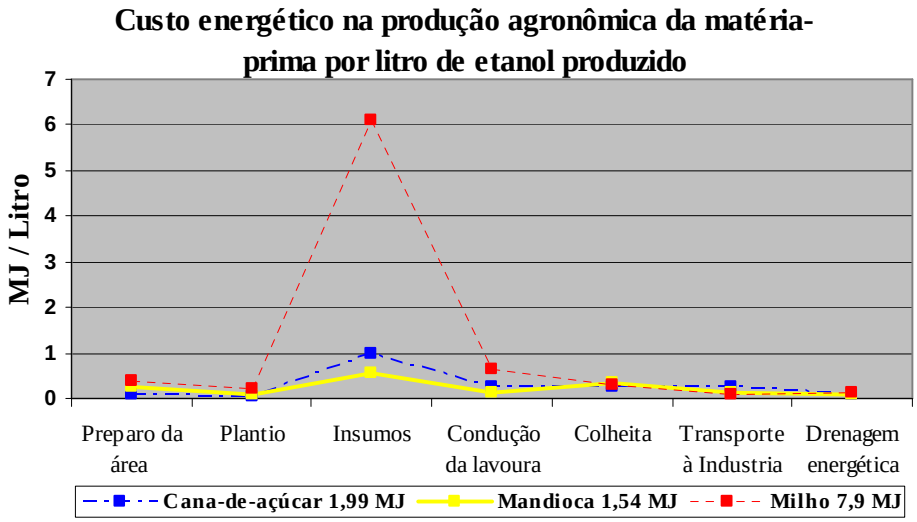

Figura 8. Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ l^{-1}) para produzir um litro de etanol, nas principais operações de agronômicas de produção da matéria-prima.

A análise do custo energético de cada operação de produção da matéria-prima, por litro de etanol produzido, revela o custo do etanol nos diferentes locais da atividade. A mandioca, que já havia apresentado um custo energético menor do que a cana-de-

açúcar e do milho para produzir a matéria-prima (9.528,33 MJ ha^{-1}), apresentou também um custo energético menor em relação ao etanol produzido (1,54 MJ l^{-1}). A cana-de-açúcar, que já havia apresentado um custo energético para produção da matéria-prima superior ao da mandioca (14.370,90 MJ ha^{-1} e 9.528,33 MJ ha^{-1}, respectivamente) apresentou também um custo mais elevado em relação ao etanol produzido (1,99 MJ ha^{-1} e 1,54 MJ ha-1, respectivamente). O milho, que já havia apresentado um custo energético superior ao da cana-de-açúcar e ao da mandioca nas operações de produção da matéria-prima (15.633,83 MJ ha^{-1}; 14.370,90 MJ ha^{-1} e 9.528,33 MJ ha^{-1}, respectivamente), apresentou também um custo energético maior com relação ao etanol produzido (7,9 MJ l^{-1}; 1,99 MJ l^{-1} e 1,54 MJ l^{-1}, respectivamente). Esse custo energético de produção do milho, que é de aproximadamente quatro vezes maior ao da cana-de-açúcar e cinco vezes ao da mandioca, deve-se basicamente aos insumos utilizados, em especial aos fertilizantes nitrogenados.

Os resultados desta pesquisa estão de acordo com outros estudos anteriores já haviam apontado. De acordo com Urquiaga et al. (2005), somente as culturas de alta produção de biomassa e com baixa adubação nitrogenada têm apresentado balanços energéticos positivos, o que poderia ser melhorado mediante o uso de variedades de melhor rendimento e a substituição e/ou redução da adubação nitrogenada com o uso de leguminosas - adubos verdes em rotação ou consórcio.

4.1.3.2 Energias investidas no processamento industrial da matéria-prima

Os resultados aqui apresentados se referem ao custo energético das operações de processamento de uma tonelada e de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho (Tabela 8 e Figuras 9 e 10).

4.1.3.2.1 Custo energético do processamento industrial da matéria-prima por tonelada e por hectare

Tabela 8. Demonstrativo do custo energético para o processamento de uma tonelada (**MJ t^{-1}**) e de um hectare (**MJ ha^{-1}**) de matéria-prima.

Etapa industrial (MJ t^{-1})	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho
Desintegração/moagem	61,87	40,72	244,82
Hidrólise/sacarificação/Tratamento do caldo	1.179,54	1.252,63	1.950,35
Fermentação	0,38	2,99	17,97
Destilação	399,28	911,11	1.668,55
Manutenção	0,50	0,81	0,70
Consumo industrial por tonelada	**1.641,56**	**2.208,28**	**3.882,39**
Etapa industrial (MJ ha^{-1})			
Desintegração/moagem	5.258,68	1.343,92	1.468,94
Hidrólise/sacarificação/Tratamento do caldo	100.260,48	41.336,75	11.702,12
Fermentação	31,93	98,81	107,79
Destilação	33.939,02	30.066,77	10.011,29
Manutenção	42,09	26,83	4,20
Consumo industrial por hectare	**139.532,21**	**72.873,09**	**23.294,34**

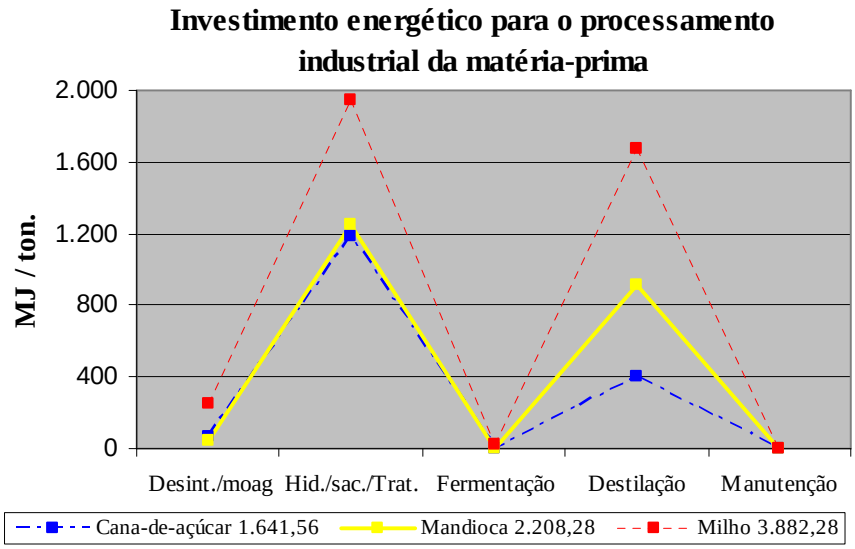

Figura 9. Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ t^{-1}) para o processamento industrial de uma tonelada de matéria-prima.

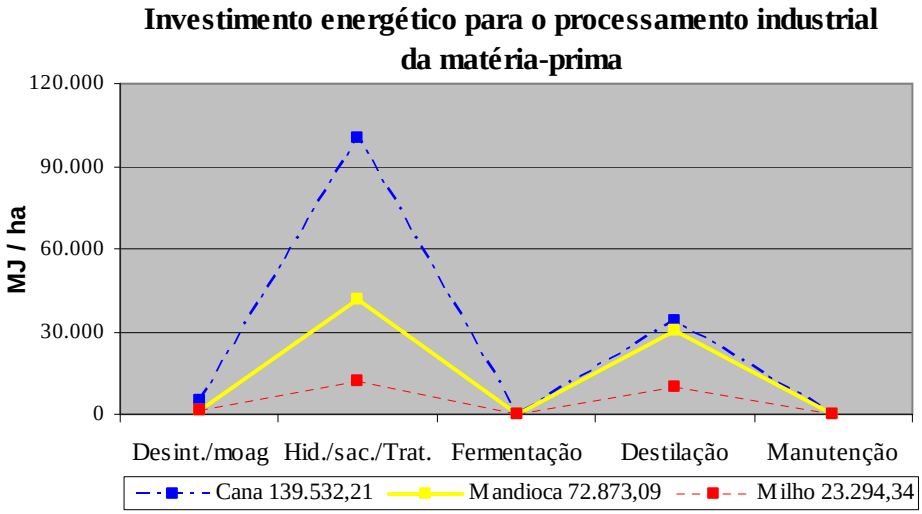

Figura 10. Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ ha^{-1}) para o processamento industrial de um hectare de matéria-prima.

As operações de desintegração/moagem de uma tonelada de cana-de-açúcar, de mandioca e de milho apresentaram um consumo energético de 1.641,56 MJ t^{-1}, 2.208,28 MJ t^{-1} e 3.882,39 MJ t^{-1}, respectivamente. As etapas de maior consumo energético foram a hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo e a destilação, sendo também os que apresentaram os maiores diferenciais entre as matérias-primas examinadas. Na etapa da hidrolise/sacarificação/tratamento do caldo a cana-de-açúcar apresentou um consumo energético ligeiramente inferior ao da mandioca 1.179,54 MJ t^{-1} e 1.252,63 MJ t^{-1}, respectivamente. O milho apresentou um consumo energético superior ao da cana-de-açúcar e ao da mandioca (1.950,35 MJ t^{-1}; 1.179,54 MJ t^{-1} e 1.252,63 MJ t^{-1}, respectivamente. Na etapa de destilação de uma tonelada de matéria-prima, as diferenças entre a cana-de-açúcar, a mandioca e o milho se tornaram mais pronunciadas e mais uniformemente distribuídas: 399,28 MJ t^{-1}; 911,11 MJ t^{-1} e 1.668,55 MJ t^{-1}, respectivamente. Para processar um hectare de cana-de-açúcar (Figura 10), com uma produtividade de 85 t ha^{-1}, foram consumidos 139.532,21 MJ de energia. A mandioca, com uma produtividade de 33 t ha^{-1}, consumiu 72.873,09 MJ e para processar 6 t ha^{-1} de milho foram consumidos 23.294,34 MJ.

4.1.3.2.2 Custo energético do processamento industrial da matéria-prima por litro de etanol produzido

Os resultados apresentados na Tabela 9 e na Figura 11, se referem ao custo energético total do litro de etanol, apresentado em cada uma das operações de processamento industrial (desintegração/moagem, hidrolise/sacarificação/tratamento do caldo, fermentação, destilação, manutenção de equipamentos e o custo energético) das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho.

Tabela 9. Demonstrativo do custo energético (MJ l^{-1}) para produzir 1 litro de etanol nas principais operações industriais de processamento da matéria-prima

OPERAÇÕES	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho
Desintegração /moagem	0,73	0,22	0,74
Hidrólise /sacarificação /Tratamento do caldo	13,93	6,67	5,91
Fermentação	0,00	0,02	0,05
Destilação	4,71	4,85	5,06
Manutenção	0,01	0,00	0,00
Custo energético total	**19,38 MJ l^{-1}**	**11,76 MJ l^{-1}**	**11,76 MJ l^{-1}**

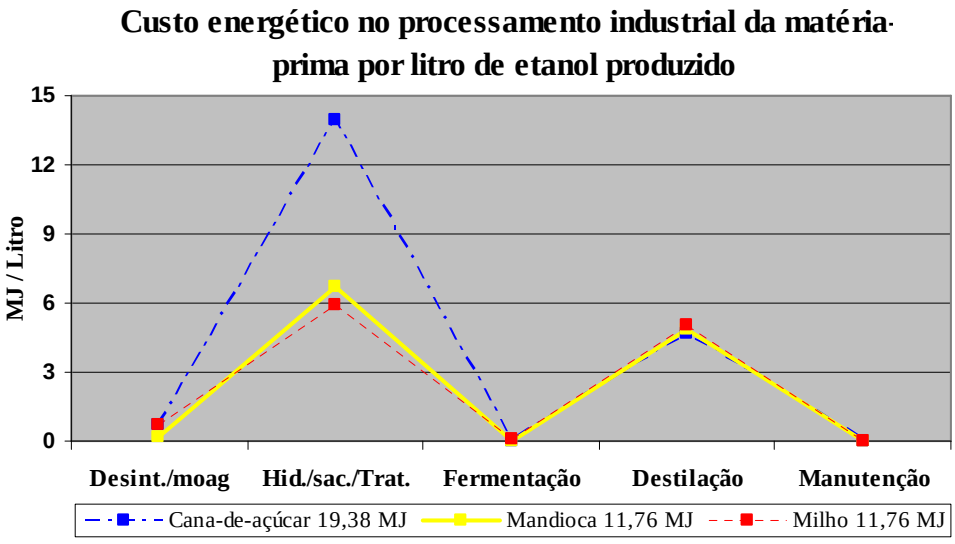

Figura 11. Demonstrativo gráfico do custo energético (MJ l^{-1}) para produzir um litro de etanol nas principais operações de processamento industrial da matéria-prima.

A análise do dispêndio energético de cada operação de processamento da matéria-prima, por litro de etanol produzido, revela o custo do etanol nos diferentes locais

da atividade. A cana-de-açúcar (Tabela 8) apresentou um custo energético menor do que a mandioca e o milho para processar uma tonelada de matéria-prima (1.641,56 MJ t^{-1}; 2.208,28 MJ t^{-1} e 3.882,39 MJ t^{-1}, respectivamente), entretanto, apresentou um custo maior do que estas (Tabela 9) quando relacionada ao etanol produzido (19,38 MJ l^{-1}; 11,76 MJ l^{-1} e 11,76 MJ l^{-1}, respectivamente). A mandioca e o milho, embora apresentem custos energéticos diferenciados nas diferentes etapas do processamento industrial, têm o mesmo dispêndio energético final (11,76 MJ l^{-1}).

4.1.3.3 Energias investidas na produção agrícola e no processamento industrial da matéria-prima.

Na tabela 10 e na Figura 12 são apresentados, de modo conjunto, os resultados das energias investidas nas diferentes operações de produção agronômica e de processamento industrial das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho, bem como das energias requeridas do etanol produzido em cada uma delas.

Tabela 10. Demonstrativo do envolvimento energético (**MJ ha^{-1}**) na produção e no processamento de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho para a produção de etanol.

Etapa Industrial (MJ t^{-1})	**Cana-de-açúcar**	**Mandioca**	**Milho**
Desintegração /moagem	61,87	40,72	244,82
Hidrólise/sacarificação/Tratamento do mosto	1.179,54	1.252,63	1.950,35
Fermentação	0,38	2,99	17,97
Destilação	399,28	911,11	1.668,55
Manutenção	0,50	0,81	0,70
Total do consumo industrial (MJ t^{-1})	**1.641,56**	**2.208,28**	**3.882,39**
Produtividade (t ha^{-1})	**85,00**	**33,00**	**6,00**
Consumo Industrial por hectare (MJ ha^{-1})	**139.532,21**	**72.873,09**	**23.294,34**
Etapa agronômica (MJ ha^{-1})			
Preparo da área	722,38	1.648,13	762,97
Plantio	329,10	487,10	423,62
Insumos	7.239,00	3.403,46	12.109,29
Condução da lavoura	1.922,35	862,74	1.293,08
Colheita	1.900,77	2.025,34	609,60
Transporte até a indústria	1.729,60	670,56	185,28
Drenagem energética	527,70	431,00	250,00
Total do consumo agronômico (MJ ha^{-1})	**14.370,90**	**9.528,33**	**15.633,83**
Total agronômico/industrial (MJ ha^{-1})	**153.903,11**	**82.401,42**	**38.928,17**
Produção estimada de etanol **(l ha^{-1})**	7.199,50	6.197,40	1.980,00
Consumo da produção e do processamento **(MJ ha^{-1})**	153.903,11	82.401,42	38.928,17
Energia produzida em etanol **(MJ ha^{-1})**	168.288,31	144.864,23	46.282,50
Produção de etanol **(l t^{-1})**	84,7	187,8	330
Gasto energético para obtenção de etanol **(MJ l^{-1})**	21,38	13,30	19,66
Índice energético do etanol **(MJ l^{-1})**	23, 375	23, 375	23, 375
Balanço energético	**1,09**	**1,76**	**1,19**
Fator de correção da produtividade	1,00	1,00	1,00

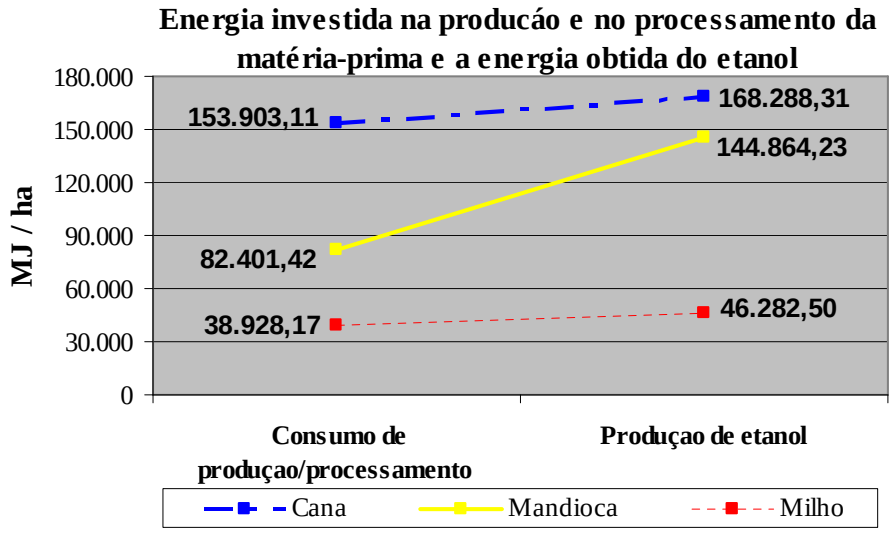

Figura 12. Demonstrativo gráfico do envolvimento energético (MJ ha^{-1}) na produção e no processamento de um hectare da matéria-prima para a produção de etanol

A cana-de-açúcar, com um rendimento de 85 t ha^{-1} e uma produção de 7.199,50 litros de etanol, que equivalem a 168.288,31 MJ ha^{-1}, consumiu 153.903,11 MJ ha^{-1}. Ou seja, para produzir 1 MJ de energia foram consumidos, na produção e no processamento da cana-de-açúcar, 0,91 MJ. A mandioca, com um rendimento de 33 t ha^{-1} e uma produção de 6.197 litros de etanol, que equivalem a 144.864,23 MJ ha^{-1}, consumiu 82.401,42 MJ ha^{-1}. Ou seja, para produzir 1 MJ de energia foram consumidos, na produção e no processamento da mandioca, 0,57 MJ. O milho, com rendimento de 6 t ha^{-1} e uma produção de 1.980,00 litros de etanol, que equivalem a 46.282,50 MJ ha^{-1}, consumiu 38.928,17 MJ ha^{-1}. Ou seja, para produzir 1 MJ de energia foram consumidos, na produção e no processamento do milho, 0,84 MJ.

Comparando com os dois relatórios, citados anteriormente, um dos EUA (SHAPOURI et al., 2002) e outro da Comunidade Européia (ARMSTRONG et al., 2002), que consideram muitos estudos feitos nos dois continentes, concluíram, respectivamente, que são necessários 0,81 GJ de energia fóssil para a produção de 1.0 GJ de energia na forma de etanol derivado do milho. Entretanto, em pesquisas com biomassas, Pimentel e Patzek (2005) constataram que a produção do etanol que usa a grão do milho requereu 29% a mais de energia fóssil do que a energia do combustível do etanol produzido.

Nos Estados Unidos, Pimentel (2001) calculou que são necessários 1,65 GJ (gigajoules) de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma de etanol do milho.

Na Tabela 11 e na Figura 13 é apresentado um ensaio do envolvimento energético com os mesmos dados obtidos na produção e no processamento de um hectare de matéria-prima, sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de tratamento do mosto e da destilação. Esse ensaio promove comparaçoes com estudos anteriores.

Tabela 11. Demonstrativo do envolvimento energético (**MJ ha^{-1}**) na produção e no processamento de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho, para a produção de etanol, sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de tratamento do mosto e da destilação.

Etapa Industrial (MJ t^{-1})	**Cana-de-açúcar**	**Mandioca**	**Milho**
Desintegração /moagem	61,87	40,72	244,82
Hidrólise/sacarificação/Tratamento do caldo	**0,00**	1.252,63	1.950,35
Fermentação	0,38	2,99	17,97
Destilação	**0,00**	911,11	1.668,55
Manutenção	0,50	0,81	0,70
Total do consumo industrial (MJ t^{-1})	**62,74**	**2.208,28**	**3.882,39**
Produtividade (t ha^{-1})	**85,00**	**33,00**	**6,00**
Consumo Industrial por hectare (MJ ha^{-1})	**5.332,70**	**72.873,09**	**23.294,34**
Etapa agronômica (MJ ha^{-1})			
Preparo da área	722,38	1.648,13	762,97
Plantio	329,10	487,10	423,62
Insumos	7.239,00	3.403,46	12.109,29
Condução da lavoura	1.922,35	862,74	1.293,08
Colheita	1.900,77	2.025,34	609,60
Transporte até a indústria	1.729,60	670,56	185,28
Drenagem energética	527,70	431,00	250,00
Total do consumo agronômico por hectare (MJ ha^{-1})	**14.370,90**	**9.528,33**	**15.633,83**
Total agronômico/industrial (MJ ha^{-1})	**19.703,60**	**82.401,42**	**38.928,17**
Produção etanol **(l ha^{-1})**	7.199,50	6.197,40	1.980,00
Consumo da produção e do processamento **(MJ ha^{-1})**	19.703,60	82.401,42	38.928,17
Energia produzida em etanol **(MJ ha^{-1})**	168.288,31	144.864,23	46.282,50
Produção estimada de etanol **(l t^{-1})**	84,7	187,8	330
Gasto energético para obtenção de etanol **(MJ l^{-1})**	2,74	13,30	19,66
Índice energético do etanol **(MJ l^{-1})**	23, 375	23, 375	23, 375
Balanço energético	**8,54**	**1,76**	**1,19**
Fator de correção da produtividade	1,00	1,00	1,00

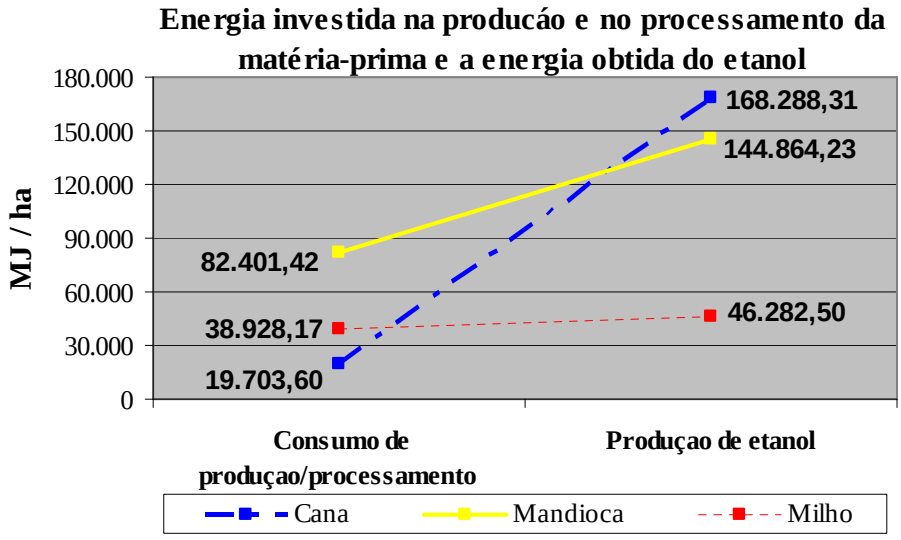

Figura 13. Demonstrativo gráfico do envolvimento energético (MJ ha^{-1}) na produção e no processamento industrial de um hectare de matéria-prima, sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de "tratamento do caldo" e da "destilação".

Em ensaio realizado com os dados da pesquisa (Tabela 11), onde foram abstraídos os custos energéticos da cana-de-açúcar das etapas de tratamento do caldo e da destilação, chegou-se a um balanço energético maior. Diferentemente da cana-de-açúcar, a mandioca e o milho mantêm os mesmos resultados, pois não possuem a possibilidade de contabilizar a energia do bagaço. Com o uso do bagaço da cana-de-açúcar para suprir a energia nas etapas de processamento (tratamento do caldo e destilação), os custos energéticos que eram de 153.903,11 MJ ha^{-1} foram reduzidos para 19.703,60 MJ ha^{-1} (Figura 13). Desse modo, o balanço energético que, incluindo os custos energéticos do tratamento do caldo e da destilação, foi de 1,09 (9%), aumentou para 8,54. Ou seja, foram requeridos 8,54 MJ para cada megajoule investido (854%).

Adotando o benefício econômico advindo da queima do bagaço, Urquiaga et al. (2005) determinaram o balanço energético a partir da relação entre a energia no combustível / energia fóssil investida e chegaram a resultados semelhantes (8,06). Ou seja, para produzir 1 MJ de energia, nessa forma, são necessários 0,124 MJ de energia fóssil. Na mesma linha de raciocínio, Machado (1998) relata que muitas usinas com excesso de bagaço estão gerando eletricidade que é vendida para a rede estadual. Segundo ele, se essa energia

excedente for incluída no balanço energético do etanol, o valor do balanço sobe para mais de 10 para 1.

Embora esse modo de interpretar melhore enormemente o balanço energético e a contabilidade econômica adotada pela economia convencional, sublima os custos e os impactos ambientais decorrentes da retirada do material (restos culturais) do agroecossistema e das emissões instantâneas do CO_2 para a atmosfera por ocasião da queima do bagaço. Os apontamentos aqui apresentados servem para mostrar que esta pesquisa está estruturada para determinar os dispêndios energéticos de todas as operações de processamento, independente da natureza ou da fonte de energia (bagaço de cana, hidrelétricas, energia nuclear etc.).

4.1.3.4 Balanço Energético

O balanço energético, demonstrado na Tabela 12 e na Figura 14, representa a síntese dos resultados da pesquisa. São apresentados de modo conjunto o custo agronômico, o custo industrial e o custo agronômico/industrial por litro de etanol produzido. A partir dessas informações definiu-se o balanço energético dos cultivos examinados.

Tabela 12. Demonstrativo do custo agronômico/industrial e o balanço energético do etanol no cultivo da cana-de-açúcar, mandioca e milho na região Paulista do Médio Paranapanema no período de 2007.

ITENS	Cana-de-açúcar (MJ)	Mandioca (MJ)	Milho (MJ)
Custo agronômico por litro	1,99	1,54	7,89
Custo industrial por litro	19,38	11,76	11,76
Custo Total (industrial/agronômico)	21,37	13,3	19,65
Energia em um litro de etanol	23, 375	23, 375	23, 575
Balanço energético	**1,09**	**1,76**	**1,19**

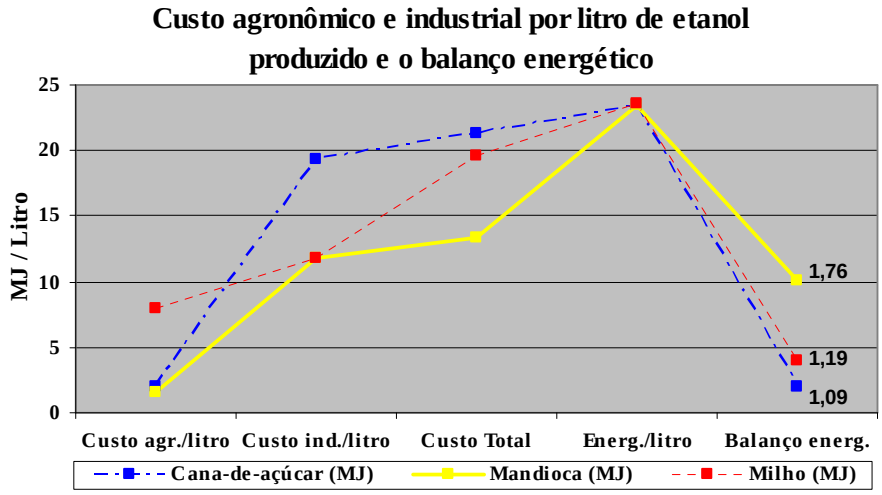

Figura 14. Demonstrativo gráfico do custo agronômico/industrial e o balanço energético do etanol no cultivo da cana-de-açúcar, mandioca e milho na região paulista do Médio Paranapanema no período de 2007.

De acordo com os dados (Tabela 12 e Figura 14), o custo agronômico do litro de etanol de milho mostrou-se superior ao da cana-de-açúcar e ao da mandioca (7,89 MJ l^{-1}; 1,99 MJ l^{-1} e 1,54 MJ l^{-1}, respectivamente). Entretanto, o custo de processamento industrial da cana-de-açúcar mostrou-se superior ao da mandioca e ao do milho (19,38 MJ l^{-1}; 11,76 MJ l^{-1} e 11,76 MJ l^{-1}, respectivamente). Vistos de modo conjunto, ou seja, somados os custos de produção agronômica e de processamento industrial da matéria-prima, a cana-de-açúcar apresentou os maiores custos totais, seguida do milho e da mandioca (21,37 MJ l^{-1}; 19,65 MJ l^{-1} e 13,3 MJ l^{-1}, respectivamente). Os conteúdos energéticos de um litro de etanol de cana-de-açúcar, de milho e de mandioca são iguais (23,375 MJ l^{-1}). Desse modo, o balanço energético dos três cultivos ficou assim determinado: para cada megajoule de energia investido na cana-de-açúcar foram requeridos 1,09 MJ (9%); para cada megajoule de energia investido na mandioca foram requeridos 1,76 MJ (76%) e para cada megajoule de energia investido no milho foram requeridos 1,19 MJ (19%).

4.1.3.5 Custo energético para a manutenção dos equipamentos de processamento industrial da matéria-prima

As moendas, as cevadeiras e os moinhos utilizados no processamento da matéria-prima para obtenção do caldo fermentescível sofrem desgastes durante o processo

de esmagamento dos colmos, desintegração das raízes e moagem dos grãos. Para o esmagamento dos colmos da cana-de-açúcar há a necessidade de recuperação contínua das engrenagens, utilizando-se soldas e eletricidade. Houve também substituições de rolos e de camisas das moendas (Tabela 13).

Tabela 13. Demonstrativo do consumo energético (**KJ l^{-1}**) com a manutenção dos equipamentos de preparo e obtenção do caldo fermentescível.

Modalidade de Consumo	**Unidade**	Processam. matéria-prima (t ano^{-1})	Total (kg t^{-1})	Índice Energético MJ (kg $aço)^{-1}$	Total (MJ t^{-1})	l t^{-1}	KJ l^{-1}
Mandioca							
• Material	240,00 (kg ano^{-1})	57.600,00	0,004167	27,00	0,1125	187,8	0,60
• Eletricidade	MJ ano^{-1}	-	-	-	-	-	-
Total						**187,8**	**0,60**
Cana-de-açúcar							
• Material	33.080,00 (kg ano^{-1})	2.520.000,00	0,0119	27,00	0,3812	84,7	4,34
• Eletricidade	67.459,39 (MJ ano^{-1})	2.520.000,00	-	-	0,02677	84,7	0,32
Total					**0,3812**	**84,7**	**4,66**
Milho							
• Material	kg ano^{-1}	-	-	-	-	-	-
• Eletricidade	MJ ano^{-1}	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	-	-	-

O consumo energético dos materiais substituídos e das operações de soldagem foi de 4,66 KJ/litro de etanol produzido. Na desintegração das raízes de mandioca há apenas substituição das serrilhas das cevadeiras, que pela conversão energética foi de 0,60 KJ / litro de etanol produzido. Quanto à moagem dos grãos de milho, o desgaste dos equipamentos (moinhos) é praticamente desprezível, não sendo registrados desgastes significativos.

Comparando-se a energia empregada na manutenção e/ou substituição de equipamentos necessários ao esmagamento da cana-de-açúcar (4,66 KJ /litro de etanol produzido) com a energia empregada na manutenção dos equipamentos de desintegração das raízes de mandioca (0,60 KJ /litro de etanol produzido), conclui-se que o consumo energético das operações da cana-de-açúcar é de aproximadamente 7, 76 vezes superior ao da mandioca.

Se considerar que a diferença entre os equipamentos de processamento industrial da cana-de-açúcar e da mandioca está fundamentalmente no modo de preparo do mosto fermentescível, sendo as demais operações iguais para ambas as matérias-primas e, se partir do pressuposto de que o desgaste energético de ambos os equipamentos está em função da massa de energia imobilizada em cada um dos setores específicos, pode-se inferir, descontadas todas as variáveis incontroláveis dessa dedução, que o investimento industrial necessário para produzir uma mesma quantidade de etanol é de 7,76 vezes menor para as destilarias à base de mandioca. Considerando essa analise preliminar, os dados encontrados sinalizam nessa direção e representam um primeiro apontamento de diferenciação das usinas.

4.2. Considerações Finais

Este trabalho teve por objetivo a análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho O levantamento das informações bibliográficas, discordantes e concordantes, aqui reunidas, é resultado do rastreamento e acesso à extensa fonte de informações, de autores radicados em diversos países, conforme o acervo listado na bibliografia. Verificou-se a hipótese de que a cultura da mandioca consome menos energia para produzir etanol do que a cana-de-açúcar e o milho.

Na primeira parte da pesquisa, onde os resultados são apresentados ao modo de “modelos de compartimentos”, permitindo avaliar o desempenho da mandioca na produção de etanol, bem como os demais balanços de massa gerados no processamento industrial da matéria-prima amilácea, têm-se as primeiras informações sobre os potenciais energéticos elevados da cultura da mandioca e as evidências de que o processamento industrial dessa matéria-prima se realiza de modo sustentável e com reduzido impacto no ambiente. Essa mesma constatação foi observada ao serem examinadas as quantidades de macronutrientes/energia extraídas, exportadas e devolvidas ao solo durante o ciclo produtivo das culturas da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho. Entre os cultivos analisados, a mandioca é a que mais extrai nutrientes do solo durante o ciclo produtivo da espécie, fato amplamente utilizado por especialistas e estudiosos para sustentar as argumentações em defesa da cana-de-açúcar como matéria-prima incomparável para a produção de etanol, ofuscando os outros atributos competitivos da espécie e reduzindo a possibilidade do setor bioenergético

brasileiro produzir energia com maiores potencialidades de inserção social. Em exame mais apurado, entretanto, verificou-se que a mandioca é o cultivo que menos exporta para a indústria os nutrientes extraídos do agroecossistema, uma vez que a quase totalidade da matéria seca de suas raízes é constituída de carboidratos, o substrato fundamental na produção de etanol. Essa informação revela a adequação da mandioca como matéria-prima para a produção de energia, diferentemente da cana-de-açúcar que para transportar os carboidratos para a indústria se obriga a carregar um enorme volume de celulose, minerais e outros compostos. A mandioca, ao contrário, ao reciclar no ambiente de cultivo a maior parte dos nutrientes extraídos, promove a intensificação dos organismos decompositores, contribuindo na manutenção dos serviços ambientais e na sustentabilidade do agroecossistema. Essas constatações, se examinadas com isenção e imparcialidade, vão ajudar a desmistificar o senso comum, as informações aparentes e o saber empírico que ainda predomina na atividade.

Na pesquisa de campo, em que foram examinados os gastos energéticos para produzir e para processar as matérias-primas mandioca, cana-de-açúcar e milho, outros fatores favoráveis à mandioca tornaram-se visíveis. Considerando-se o consumo energético requerido em todo o processo de produção das matérias-primas, a mandioca apresentou o menor dispêndio por hectare, seguida da cana-de-açúcar e por último do milho. E quando a análise se realiza em função do etanol produzido, as diferenças se acentuam ainda mais favoravelmente à mandioca, agora seguida do milho e por último da cana-de-açúcar. No processamento industrial verificou-se que o consumo energético para processar uma tonelada de cana-de-açúcar é superior à energia empregada nas operações de processamento de uma tonelada de mandioca e de milho. Analisando o custo de processamento industrial das matérias-primas, em função do etanol produzido, a cana-de-açúcar apresentou um consumo energético ainda maior que às demais matérias-primas. Focando a etapa - “hidrólise/sacarificação/tratamento do mosto” - a cana-de-açúcar apresenta custos energéticos mais de duas vezes superiores aos demandados pela mandioca e pelo milho. Isso demonstra factualmente que o argumento contra a utilização de materiais amiláceos para a produção de etanol apresenta essa lacuna e não está suficientemente embasado para promover adequadamente a cana-de-açúcar.

As constatações ficam ainda claras quando a análise dos dados obtidos é simulada a partir de outro procedimento metodológico, que é comumente adotado pela

contabilidade da economia convencional, onde são subtraídos os custos energéticos das operações de hidrólise/sacarificação/tratamento do mosto, considerando-os como aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar que se acumula nos pátios das destilarias. O uso desse procedimento metodológico altera enormemente o balanço energético em favor da cana-de-açúcar, que salta do valor pesquisado de 1,09 para 8,54. Entretanto, essa leitura da realidade concentra esforços em valores questionáveis, pois institui formas de aceitação, direciona percepções, focaliza a atenção, organiza conceitos, pressupostos e apriorismos de que os benefícios obtidos da queima do bagaço da cana-de-açúcar têm origem em fonte gratuita de energia, considerada resíduos na destilaria. Esse modo de pensar tornou-se um filtro perceptivo para a compreensão e para a aceitação de outras fontes amiláceas como matérias-primas para produção de etanol, especialmente àquelas desprovidas das sobras culturais para alimentar as caldeiras. O paradigma que a ciência econômica convencional adota em suas pesquisas pode ser um filtro ou uma lente para a aceitação da realidade, muito embora os resultados e proposições aqui apresentadas também exijam a refutação lógica de suas verdades relativas.

As considerações finais deste trabalho não têm o propósito de impor, de convencer, de converter alguém ou ainda de direcionar a escolha das matérias-primas para compor programas de bioenergias ou de biocombustíveis. Entretanto, o que foi exposto tem embasamento na análise racional científica, sem conservar a ilusão de que os resultados representem uma verdade definitiva, acabada, absoluta. De qualquer modo, procurou-se disponibilizar informações aos pesquisadores, aos gestores públicos e aos dirigentes deste e de outros países, ajudando-os a reconhecer os potenciais energéticos da mandioca, a combater com argumentos as investidas exploratórias sobre ecossistema frágeis e a optar por fontes de carboidratos que apresentem sustentabilidade com o agroecossistema de cultivo e com os propósitos bioenergéticos.

A inserção da mandioca no cenário bioenergético do etanol representa um avanço e uma oportunidade para desenvolver “tecnologias de sintonia” com as dimensões socioculturais, socioambientais e socioeconômicas do espaço tropical brasileiro, especialmente o amazônico. Nesse contexto é imprescindível ter em mente que as iniciativas tecnológicas quando desenvolvidas com o foco nos potenciais regionais adquirem também as credenciais para compor programas representativos de expansão, a exemplo da mandioca, que além de ter

revelado um balaço energético superior ao da cana-de-açúcar e ao do milho encontra ressonância nas comunidades menos favorecidas do território brasileiro.

5. CONCLUSÕES

A hipótese de pesquisa que embasou, referenciou e motivou a busca das informações para questioná-la, não pode ser refutada. A afirmação de que a mandioca consome menos energia do que a cana-de-açúcar e do milho, no processo de obtenção do etanol, se confirmou em todos os quesitos pesquisados, ou seja: no exame das energias exportadas do agroecossistema, referentes aos macronutrientes contidos nas raízes da mandioca, nos colmos da cana-de-açúcar e nos grãos de milho; no dispêndio energético para a produção agronômica e para o processamento industrial das matérias-primas por litro de etanol produzido; na manutenção dos equipamentos industriais de processamento das matérias-primas em análise; e nos balanços energéticos finais apresentados pala mandioca, pela cana-de-açúcar e pelo milho. O desempenho apresentado pelas espécies examinadas melhora a visibilidade de suas potencialidades e acena para a necessidade de prosseguimento das pesquisas nas áreas de produção agronômica, de processamento industrial e de repercussões ambientais nos agroecossistemas de cultivo. De todo modo, ampliam-se as possibilidades para a produção sustentável de energia a partir de biomassas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA. **Produção de amido por Estado 2004**. Disponível em: <http://www.abam.com.br/prod_amido_est_2004.php>. Acesso: 6 abr. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA. **Produção de fécula de mandioca no ano de 2005**. Disponível em: <http://www.abam.com.br>. Acesso em: 28 ago. 2006.

ABIMILHO. Milho: o cereal que enriquece a alimentação humana. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/milho.htm > Acesso em: 19 jun. 2002.

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHELLI, L.L. Resíduos de colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar,** São Paulo**,** n.67, p.23-25, abr./jun. 1993.

AGRIANUAL 2006. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & AgroInformativos, 2006, 574p.

AGROW - BIOTECH NEWS. Disponível em: <http://www.agrow.co.uk/subscribe/> Acesso em: 15 de maio de 2006.

ALVAREZ, I. A. **Comparação entre o desenvolvimento de cana crua e cana queimada em dois ciclos de crescimento**. 1998. 116 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 1998.

ALVIN, P. T.; ALVIN, R. Fontes de energia de origem vegetal: carboidratos, óleos e hidrocarbonetos. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, ano. 5, n.59/60, p.15, nov./dez., 1979.

ANUÁRIO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA 2004. São Paulo, 2005. 162 p.

APAN, A..; HELD, A.; PHINN, S.; MARKLEY, J. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. **International Journal of Remote Sensing,** Austrália, v.25, n. 2, p. 489-498, 2004.

ARBEX M.A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação da cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara**. 2002. 188 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

AREVALO, R. A.; BERTONCINI, E. I. Manejo químico de plantas daninhas nos resíduos de colheita de cana crua. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, n.4, p.36-38, mar./abr. 1999.

ARMSTRONG, A. P.; BARO, J.; DARTOY, J.; GROVES, A.; NIKKONEN, J. RICKEARD, D.; THOMPSON, D.; LARIVÉ J. **Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe:** an update. Brussels: ONCAWE, 2002. 18 p. (CONCAWE. Report, 2/02). Disponível em: < http://www.concawe.be/ > Acesso em: 20 ago. 2004.

ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G.; HOWELLER, R. H. **Desórdenes nutricionales de la yuca** (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 1980. 48p.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant ratoon crops of sugar cane. **Plant and Soil,** Viçosa, v.142, p.297-305, 1992.

BANCO DE DADOS DE BIOMASSA NO BRASIL: Cana-de-açúcar no Brasil. Disponível em: < http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br cana.asp. > Acesso em: 14 mar. 2006.

BASSINELLO, A. I. et al. **Implicações agrícolas e industriais da colheita da cana crua.** Araras: IAA, PLANALSUCAR, [s.d.]. 55 p.

BEBER, J. A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais. Agudo, RS**. 1989. 295p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural)– Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1989.

BERGAMASCO, S. M. P. P. Família e trabalho rural no Brasil e no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 23, supl. 1, p. 07-16, 1993.

BERTHIAUME, R.; BOUCHARD, C.; AND ROSEN, M. A. Exergetic evaluation of the renewability of a biofuel, **Exergy, An International Journal**, Canada, v. 1, n. 4, p. 68-256, 2001.

BLACKBURN, F. **Sugar-cane.** Longman: New York. 1984. 414p.BODDEY, R. M. “Green” energy from sugar cane. **Chemistry & Industry**, London, n. 10, p. 355-358, May, 1993.

BOHM, G. M. **Queima da cana-de-açúcar e saúde humana. STAB, Açúcar, álcool e subprodutos,** Piracicaba, v.16, n.4, p.40-41, 1998.

BUENO, O. C. **Eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2002. 147p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista/UNESP. Botucatu, 2002.

BUENO, O. C.; CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. de. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: **Avances en ingeneria agrícola**. Buenos Aires: Editorial Faculdade de Agronomia, 2000. p. 82-477.

BUENO, O. C.; ROMERO, M. G. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; MARTINS, T. T. G. M.; PAES, A. R.; ALMEIDA, L. C. F. **Avaliação energética e econômica do agroecossistema algodão em exploração agrícola familiar:** variáveis para a sustentabilidade. San Luis: Osvaldo A. Barbosa, 2004, 6p. (Boletim Informativo).

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.

CABELLO, C. Produtos derivados de fécula de mandioca – etanol. In: WORKSHOP SOBRE TECNOLOGIAS EM AGROINDÚSTRIAS DE TUBEROSAS TROPICAIS, 4. Botucatu, 2006. Anais. Botucatu: UNESP, 2006. p. 02-06.

CALEGARI, A. Manejo de adubação verde. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROTAÇÃO DE CULTURAS, 2, 1992, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão, 1992. p.104-116.

CAMPOS A. T. **Balanço energético relativo à produção de feno de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. 236 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS A. T.; BUENO, O. C. Produção e armazenamento de grãos em estabelecimentos agropecuários do Estado de São Paulo: importância e distribuição por intervalos de área. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 29, n. 11, p. 7-17, 1999.

CAMPOS, A. T. et al. Balanço energético na produção de silagem de milho em cultivos de verão e inverno com irrigação. In: _____. **Avances en ingeneria agrícola**. Buenos Aires:

Editorial Facultad de Agronomía, 2000. p. 8-483.CAPRA, F. **As conexões ocultas**: ciência para uma vida sustentável. São Paulo: CultriX, 2002. 296p.

CARMO, M. S.; COMITRE, V. Evolução do balanço energético nas culturas de soja e milho no Estado de São Paulo. In: **Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**, 29, 1991, Campinas. **Anais**... Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1991. p. 49-131.

CARMO, M. S.; COMITRE, V.; GABRIEL, L. R. A.; THEMEN, J. I. Eficiência energética na produção agrícola e do refino do óleo de amendoim. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31., 1993, Ilhéus. **Anais**... Campinas: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1993. p. 17-605.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Vicosa, v. 14, p. 99-105, 1990.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. **Perfil energético da agricultura paulista**. São Paulo: IEA; Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo, 1982. 55 p.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. Perfil energético da agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 30, p. 63-115, 1983.

CASTRO, M. A luz que vem da cana. **Jornal da Cana**, Piracicaba, n. 91, p. 38-39, jul. 2001.

CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., 1999, Piracicaba**. Anais...** Piracicaba: Saccharum, 1999. v. 1, p. 12-16.

CELIA, M. A. How hydrogeology can save the world: an editorial. **Ground Water**, Washington, n. 40, p. 113, 2002.

CEREDA, M.; VILPOX, O. F.; TAKAHASHI, M. **Culturas tuberosas amiláceas Latino Americanas**. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. Botucatu: Fundação Cargill, 2004, v.3, p.30-46.

CEREDA, M. Aproveitamento industrial dos resíduos da mandioca. Botucatu: CERAT, 1996. 137 p.

CHAMBERS, R. S.; HERENDEEN, R. A.; JOYCE, J. J.; PENNER, P. S. Gasohol: does it or doesn't it produce positive net energy? **Science**, Boston, v.206, p. 5-790, 1979.

CHRISTENSEN, E. H. Physiology of work. In: ENCYCLOPAEDIA of occupational health and safety. Geneve: International Labour Office, 1972. v. 2, p. 65-1063.

CIACCO, C. F.; D'APPOLONIA, B. L. Functional properties of composite flours containing tuber flour or starch. **Baker's Dig**., v. 51, n.5, p. 46-50, 1977.

COCK, J. H. Agronomia potential for cassava production. In: ARAULLO E.V.; NESTEL, B.; CAMPBEL, M. **Cassava processing and storage**. Thailand: IDCR, 1974 p.21-26.

COCK, J. H.; WHOLEY, D. N.; HUNT, L. H. Growth physiology of cassava. **Field Crops Abstracts,** v.30, n.2, p.77-91, 1977.

COCK, J. H. Cassava: new potential for a neglected crop. **West view Press**, London, v. 383, p. 74-91, 1985.

COELHO, S. A.; FRANÇA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.71, p. 1-9, 1995.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o estado de São Paulo. 1999. 278 p. Tese (Doutorado em Energia)-Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COELHO, A. M. Manejo da fertilidade do solo e adubação do milho de alta produtividade. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, n. 113, p.1-9, 2006.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto**. 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário)–Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 9 abr. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras 1990/91 a 2004/05 - séries históricas**: milho primeira safra e milho segunda safra. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2006.

COPERSUCAR. Projeto BR/96/G31: impactos ambientais do uso em larga escala de sistemas BIG-GT na indústria da cana-de-açúcar. In: Projeto BRA/96/G31: geração de energia por biomassa, bagaço da cana-de-açúcar e resíduos. **STAB, Açúcar, Álcool, e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 5, p. 36-39, maio/jun. 1998.

CORREA, H.; ROCHA, B. V. Manejo da cultura da mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 59/60, p. 16-30, 1979.CORREA, H. **A mandioca na agroindústria do álcool**. Lavras: ESAL, 1977. 113 p.

CORRÊA, S. **Anuário brasileiro do milho 2004**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2004. 136 p.

COX, G. W.; HARTKINS, M. D. Energy costs of agriculture. **Agricultural ecology**, p.597-629, 1979.

CRUZ, I. O milho em destaque. In: CORRÊA, S. et al. **Anuário brasileiro do milho 2004**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2004. p. 6-8.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2005/06.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2007. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>. Acesso em: 6 mar. 2007.

DAVIS, M. et al. **National hydrogen energy roadmap**: toward a more secure and cleaner energy future for America: production, delivery, storage, conversion, applications, public education and outreach: technical report, based on the results of the National Hydrogen Energy Roadmap Workshop. Washington, DC, 2002. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/>. Acesso em: 14 mar.

2007.DEL BIANCHI, V. L. **Balanço de massa e de energia do processamento de farinha de mandioca em uma empresa de médio porte do Estado de São Paulo**. 1998. 118 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1998.

DELGADO, A.A. Os efeitos da queima dos canaviais**. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos,** v. 3, n.6, julho-agosto, 1985.

DELUGA, G. A. et al. Renewable hydrogen from ethanol by authothermal reforming, **Science**, Washington, DC, v. 303, p. 993–996, 2004.

DERPSCH, R. Adubação verde e rotação de culturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3., 1985, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação ABC, 1985. p. 85-104.

DIAS, F.L.F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo.** 1997. 64p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

DOERING III, O. C.; CONSIDINE, T. J.; HARLING, C. E. **Accouting for tillage equipament and other machinery in agricultural energy analysis**. Indiana, West Lafayette: Purdue University, 1977. 4p. (Agr. Exp. Sta. NSF/RA – 770128).

DOERING, O. C.; PEART, R. N. **Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis**. Indiana: Purdue University, 1977. 128p.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 33).

DREES, L.R. Micromorpological characteristics of longterm no-till and conventional tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.508-517, 1994.

DRESSELHAUS, M.; CRABTREE, G.; BUCHANAN, M. **Basic research needs for the hydrogen economy**: technical report. Washington: Argonne National Laboratory, Basic Energy Sciences, 2003. Disponível em: <http://www.sc.doe.gov/bes/hydrogen.pdf>. Acesso em: 16 maio 2005.

EGGLESTON, G.; ASIEDU, R. Effects of boiling on the texture of cassava clones: a comparison of compressive strength, intercellular adhesion and physicochemical composition of the tuberous roots. **Tropical Science**, v.34, p.259-273, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. Concórdia, 1985. 29 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesquisa em andamento**. Sete Lagoas, 1998. 6 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Manual técnico de suinocultura**. Brasília, DF, 1979. 196 p.

FANCELLI, A. L. Cultura do milho é fundamental na estabilidade do sistema plantio direto. **Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 67, p. 10-2, 2002. FAO/OMS. **Besoin énergétique et besoin en protéine**. Rome: FAO/OMS, 1973. 292p.

FAO. **O estado mundial de la agricultura y la alimentacion**. Roma: FAO, 1976. 158p.

FAO. **Energia para la agricultura**. Roma: FAO, 1980. 208p.

FAO. **Perfil da agricultura familiar no Brasil**: dossiê estatístico. Brasília, DF, 1996. 24 p. (Projeto UFT/BRA/036/BRA).

FAO. **Agriculture, alimentation et nutrition en Afrique: un ouvrage de référence à l'usage des professeurs d'agriculture**. Roma, 2001. 114p.

FARALDO, M. I. F.; SILVA, R. M.; ANDO, A. Variabilidade genética de etnovariedades de mandioca em regiões geográficas do Brasil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 499-505, 2000.

FARRELL, A. E.; PLEVIN, R. J.; TURNER, B. T.; JONES, A. D.; O'HARE, M., KAMMEN, D. M. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. **Science**, California, v. 311, p. 506-508, 2006.

FAUCONNIER, R. Standard of living and degree of mechanized sugarcane harvesting. In: PROCEEDINGS OF CONGRESS, 18., 1983. Havanna. **Proceedings…** Havanna: ISSCT, 1983. v. 1, p. 505-519.

FGV - FUNDAÇAO GETÚLIO VARGAS. **Pesquisa sobre consumo alimentar**. Instituto Brasileiro de Economia, Divisão de Estatística e Econometria, v.3, 1979.

FIGUEIREDO, P. A. M. **Efeitos da vinhaça e de sua complementação nitrogenada e biológica no palhiço, no solo e na cana-de-açúcar**. 2000. 77 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; SPAROVEK, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.35, n. 4, p. 671-679, 2000.

FLUCK, R.C. To evaluate labor energy in food production.**Agricultural Engineering**, Michigan, v.57, n.1, p.31-32, 1976.

FORTES, C. **Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/Landsat 7.** 2003. 131 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FRANCO, A. R. **Aspectos médicos e epidemiológicos da queimada de canaviais na região de Ribeirão Preto.** Ribeirão Preto: USP, Centro de Estudos Brasileiros, 1992. 19 p.

FREELAND, S. J.; HURST, L. D. Evolução em código: descobertas sobre o modo como os genes codificam proteínas revelam a sofisticada programação da natureza para proteger a vida de erros catastróficos e acelerar a evolução. **Scientific American Brasil**, v. 2, n. 24, p. 54-61, maio 2004.

FREIRE, G. **Casa-grande e senzala.** 12. ed. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 1963. 573p.

FIBGE. **Censo Agropecuário 1995/1996 – São Paulo**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 383p.

FURLANETO, F. P. B.; KANTHACK, R. A. D.; BONISSONI, K. C. **O agronegócio da mandioca na região paulista do Médio Paranapanema**. 2006. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2007.

FURLANETO, F. P. B.; KANTHACK, R. A. D.; ESPERANCINI, J. S. T. **Análise econômica da cultura da mandioca no Médio Paranapanema, estado de São Paulo**. 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/MandiocaEcon/index.htm>. Acesso em: 29 abr. 2008.

FURLANI NETO, V. L. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 12, p. 8-9, 1994.

GALLI, G., SPUGNOLI, P. Costi energetici relativi alle fasi vivaistica di constituzione e conduzione di un impianto di actinidia. **Rivista Ing. Agraria**, Italia, v. 3, p.147-159, 1985.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment,** New York, v. 94, n. 4, p. 523-534, 2005.

GEUS, J. C. de. **Fertilizer guide for the tropics and subtropics.** Zurichi: Center dÉtude de I'Azote, 1973. 774 p.

GONÇALVES, D. B. **Mar de canal, deserto verde?**: dilemas do desenvolvimento sustentável na produção canavieira paulista. 2005. 96 p. Tese (Doutorado Engenharia de Produção)–Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

GOODMAN, M. M.; SMITH, J. S. T. Botânica. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p. 32-70.

GOVER, M. P. et al. **Alternative road transport fuels**: a preliminary life-cycle study for the UK. Oxford: Energy Technology Support Unit, 1996. v. 1-2. (ETSU report R92).

GRAY, K. A.; ZHAO, L.; EMPTAGE, M. Bioethanol. **Current Opinion in Chemical Biology**, Houston, TX, n. 10, p. 141-146, 2006.

GROXKO, M. **Perfil da agropecuária Paranaense**. Assis Chateaubriand, PR: CTSOP, 2003. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab/revista.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2005.

GUANZIROLI, C. E. (Coord.). **Perfil da agricultura familiar no Brasil**: dossiê estatístico. Brasília, DF: INCRA, 1996. 24 p.

HARADA, T.; TIRTOHUSODO, H.; PAULUS, K. Influence of the composition of potatoes on their cooking kinetics. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 2, p. 463-468, 1985.

HARMMOND, A. Substituição de combustíveis fosseis por outros de origem renovável. **Revista Science**, Rio de Janeiro, v. 95, p. 564–566, 1977.

HART, R. D. Una metodologia para analizar sistemas energia terminos energéticos. In: HART, R. D.; JIMÉNEZ, T.; SERPA, R. **Analisis energético de sistemas agricolas**. Costa Rica: UCR/CATIE, 1980. p. 3-14.

HAWAIIAN SUGAR PLANTERS ASSOCIATION. Experiment station. energy. **Annual Report.** Honolulu, 1983. cap.7, p.72-75.

HEICHEL, G. H. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 27-33.

HEICHEL, G. H. **Comparative efficiency to energy use in crop production**. New Haven: Connecticut Agricultural Experiment Station, 1973. 26 p.

HEICHEL, G. Private Communication. In: PATZEK, T. W. Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle, **Critical Reviews in Plant Sciences**, Illinois, v.23, n.6, p. 519–567, 2004.

HESLES, J. B. S. **Objetivos e princípios da análise energética, análise de processos industriais, análise energética**: métodos e convenções. Rio de Janeiro: Preprint AIECOPPE/UFRJ, 1981. 137 p.

HETZ, E. H.; BÓRQUEZ, M. F. Requerimientos energéticos para la producción de maiz en la zona Centro-Sur de Chile. **Agro-Ciencia**, v. 3, n. 2, p. 135-41, 1987.

HODGE, C. Ethanol use in US gasoline should be banned, not expanded. **Oil & Gas Journal Sept**, Houston, v. 9, 2002.

HOWELER, R. H. Nutrición mineral y fertilización de la yuca. In: DOMINGUES, C. E. (comp.) **Yuca**: investigación, produción, y utilización. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982. p. 317-358.

HUNT, D. **Maquinaria agrícola**: rendimento económico, costos, operaciones, potência y selección de equipo. México: Limusa, 1986. 451 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Disponível em: <http://www.zeamays.com.br/adub>. Acesso em: 20 mar. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 4 jul. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa industrial produção física**: agroindústria. Rio de Janeiro, 2005. Comunicação Social. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 fev. 2006.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. São Paulo. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/>. Acesso em: 03 maio 2002.

INSTITUTO DE NUTRICIÓN DE CENTRO AMÉRICA Y PANAMA. Comite Interdepartamental de Nutrición para la Despensa Nacional. **Tabla de composición de alimentos para uso en América**. Mexico, 1964. 132 p.

INCRA/FAO. **Novo retrato da agricultura familiar**: o Brasil redescoberto. Brasília, DF, 2000. 74 p. (Projeto de Cooperação Técnica).

INSTITUTO DE TERRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Construindo o futuro**: política de investimentos em assentamentos rurais, seus custos e resultados. São Paulo, 1998a. 192 p. (Série cadernos ITESP, 10).

INSTITUTO DE TERRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Retrato da terra**: perfil sócio-econômico dos assentamentos do estado de São Paulo – 96/97. São Paulo, 1998b. 56 p. (Série cadernos ITESP, 1).

JALEEL, D. A.; SRIKAMTA, S.; GHILDYAL, N. P.; LONSANE, B. K. Simultaneous solid phase fermentation e saccharification of cassava fibrous residue for production of ethanol. **Starch/Starke,** v.40, n.2, p.8-52, 1988.

JARACH, M. Sui valori di equivalenza per l´analysi e il bilancio energetici in agricoltura. **Rivista Ing. Agraria**, v.2, 1985, p.102-14.

JOAQUIM, A. C**. Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara – SP, através de análise de nível de cinza em imagens LANDSAT/TM.** 1998. 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 1998.

JUNQUEIRA, A. A. B.; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F. A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 29, tomos I e II, p. 55-100, 1982.

KANTHACK, R. A. D. Inovações, desafios e estrangulamentos na cultura da mandioca em São Paulo. In: WORKSHOP SOBRE TECNOLOGIAS EM AGROINDÚSTRIAS DE TUBEROSAS TROPICAIS, 4., 2006, Botucatu. **Anais**... Botucatu: UNESP, 2006. p. 25-45.

KAWANO, K. et al. Factors affecting efficincy off hybridization and selection in Cassava. **Crop Sciencie**, Madson, v. 18, p. 373-376, 1978.

KEITH, D. W.; FARRELL, A. Rethinking hydrogen cars. **Science**, Washington, DC, v. 301, p. 315–316, 2003.

KIM, S. D. B. E. Allocation procedure in ethanol production system from corn grain: I. System expansion. **International Journal of Life Cycle Assessment,** v. 7, n. 4, p. 237-243, 2002.

KIM, S. D. B. E. Ethanol fuels: E10 or E85 e life cycle perspectives. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 21-117, 2006.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. (Coord.) **As queimadas da cana.** São José dos Campos: INPE, 1991. 92 p.

KNHI, A. A. M.; GHILDYAL, N. P.; LONSANE, B. K. Studies on production of alcohol from saccharified waste residue from cassava starch processing industries. **Starch/Starke**, v. 33, n. 8, p. 9-275, 1981.

KOZEMPEL, M. F. Modeling the kinetics of cooking and precooking potatoes. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 753-755, 1988.

LAURE, C. J. Efeito de queima sobre atmosfera: produção de gases nocivos. In: KIRCHHOFF, V. W. J. H. (Coord.) **As queimadas da cana.** São José dos Campos: Trastec Editorial, 1991. 32 p.

LEACH, G. **Energy and food production**. London: International Institute for Environment and Development, 1976. 192 p.

LEÃO, R.M. **Álcool, energia verde.** São Paulo: IQUAL, 2002. 255 p.

LEITE, W. B.; PINTO, L. A. O valor do bagaço como combustível. In: **Avaliação do bagaço da cana-de-açúcar.** São Paulo: 1983. p. 22-39. (Coleção Sopral, 4).

LENG, R. et al. Life cycle inventory and energy analysis of cassava-based Fuel ethanol in China. **Journal of Cleaner Production**, Shanghai, v. 20, p. 1-11, 2007.

LEONEL, M. **Produção de etanol a partir de farelo de mandioca**. 1988. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1998.

LIMA, A. D. de. **Modelos matemáticos aplicados a problemas na cultura da cana-de-açúcar e no aproveitamento da energia da biomassa**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2006.

LIMA, J. F. O. **Vida e Saúde: raízes da terra.** Tatuí: 2001. 63 p.

LOCKERETZ, W. Energy inputs for nitrogen, phosphorus and potash fertilizers. In: PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1980. p. 23-26.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 117 p.

LORENZI, J. O.; NORMANHA, E. S.; CONCEIÇÃO, A. J. da. Sistemas de plantio e produção de mandioca no Brasil. In: EMBRAPA. **Práticas culturais da mandioca**. Brasília: 1984. p.61-69 (Documentos, 14).

LORENZI, H. Tiririca: uma séria ameaça aos canaviais. **Boletim técnico COPERSUCAR,** São Paulo, v. 35, p. 3-10, 1986.

LORENZI, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca:** Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 36 p. (Boletim técnico 211).

LORENZI, J. O. Variação na qualidade culinária das raízes de mandioca. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 237-245, 1994.

LORENZI, J.O. Desafios do cultivo de mandioca em larga escala. In: WORKSHOP SOBRE TECNOLOGIAS EM AGROINDÚSTRIAS DE TUBEROSAS TROPICAIS, 4., 2006. **Anais...** Botucatu: UNESP, CERAT, 2006. p. 3-4.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S. A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. v. 1, 95p.

MACHADO, I. de C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v. 14, n.1, p. 77-81, 1998. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/els/09619534>. Acesso em: 21 ago. 2004.

MAKHIJANI, A.; POOLE, A. **Energy and agriculture in the third world**: a report to the Energy Policy Project of the Ford Foundation. Cambridge: Ballinger, 1975. 168 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4. ed., rev. e atual. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 256 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. D. (Eds.) **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 93-541.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, GT. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989, p.4.

MANECHINI, C. The impact of cane trash on weed control. **International Cane Energy News,** Argentina, p. 7-9, Apr. 2000. Disponível em: <www.winrock.org/clean_energy/files/icen2000.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2006.

MARQUES, S. B. et al. Época e profundidade da aplicação da adubação nitrogenada de cobertura na cultura de milho em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 6., 1998, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: APDC/EMBRAPA/FBPDP, 1998. Disponível em: <http://www.agri.com.br/6enpdp/resumos/índice.htm>. Acesso em: 30 jul. 2001.

MASCHIO, J. **País negocia com Tailândia, maior exportadora do tubérculo, tecnologia para fazer álcool com o produto.** 2004. Disponível em: <www.concepto.com.br/eclipping/eclipping/> Acesso em: 3 set. 2005.

MATSUOKA, Y. et al. **A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping**, Mexico, 2002. Disponível em: <http://www.pnas.org_cgi_doi_10.1073_pnas.052125199>. Acesso em: 3 mar. 2007.

MATTOS, K. M. C.; MATTOS, A. Valoração econômica do desperdício de energia na queima do canavial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. v. 4, p. 51-57.

MATTOS, P. L. P. de.; GOMES, J. de.; MATTOS, A. P. de. **Cultura da mandioca**. Cruz das Almas: IPEAL, 1973. 13p. (Circular 27).

MELLO FILHO, G. A.; RICHETTI, A. Aspectos socioeconômicos da cultura do milho. In: _____. **Milho**. Dourados: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária Oeste, 1997. p. 13-38. (Circular técnica, n. 5).

MELLO, R. **Análise energética de agroecossistemas**: o caso de Santa Catarina. 1986. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

MENDONÇA, H. A.; MOURA, G. M; CUNHA, T. E. Avaliação de genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no Estado do Acre. Rio Branco: EMBRAPA, CPAFAC, 2003. 4 p. (Comunicado técnico).

MERCIER, J. R. Energie et agriculture, le choix ecologique. Paris: Debard, 1978. 187 p.

MOLINA JUNIOR, W. G. et al. Energia potencial da biomassa não industrializável de canaviais para emprego como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBEA, 1995. p. 142.

MONTALDO, A. **La yuca o mandioca**. San José: Instituto Interamericano de Ciências Agrárias, 1979. 386 p.

MOORTHY, S. N.; MATHEW, G. Cassava fermentation and associated changes in physicochemical and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, India**,** v. 38, n. 2, p. 73-121, 1998.

MOREIRA, J. R. Balanço de energia para produção de álcool etílico e metílico. **Jornal dos Reflorestadores,** v. 1, n. 4, p. 1-8, 1979.

NASCIMENTO, A. F. do. **Efeitos da pré-fertilização potássica na produção de mudas de duas variedades de cana-de-açúcar.** 1999. 37 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

NASSAR, N. M. A. et al. A molecular and embryonic study of apomixis in cassava (Manihot esculenta Crantz). **Euphytica**, Piracicaba**,** v. 102, p. 9-13, 1998.

NASSAR, N. M. A. Cytogenetics and evolution of cassava (*Manihot esculenta Crantz).* **Genetics Molecular Biology,** v.23, n.4, p.1003-1014, 2000.

NGEVE, M. J. Cassava root yields and culinary qualities as affected by harvest age and test environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Africa**,** v. 83, p. 249-257, 2003.

NORMANHA, E. S.; PEREIRA, A. S. Aspectos agronômicos da cultura da mandioca (M. utilíssima Pohl). **Bragantia,** Campinas**,** v. 10, n. 7, p. 179-202, 1950.

NREL. **Life cycle analysis**: corn Stover vs Petroleum. Iowa: National Renewable Energy Laboratory, Department of Energy, 2002. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/gen/fy02/31792.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2007.

NUNES, E. de O.; OLIVEIRA, A. B. de. Resultados preliminares de pesquisas com mandioca. In: REUNIÃO DA COMISSÃO NACIONAL DA MANDIOCA, 6., 1972, Recife. **Anais...** Recife: MA/ DNPEA, 1972.

ODIGBOH, E. U. Machines for crop production. In: STOUT, B. A. (Ed.) **Handbook of agricultural engineering**: plant production engineering. Nigeria: American Society of Agricultural Engineers, 1997.

ODUM, H. T. **The world food problem**. Washington, DC: 1967. v. 2, 94 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. p. 63-82.

OKE, O. L. Cassava; yesterday, today and tomorrow. **Personal Communication**, If Lecture Series, Nigéria**,** n. 7, p.217-226, 2005.

OKIGBO, B. N. Nutritional implications of projects givinghigh priority to the production of staples of low nutritive quality. In the case for cassava (Manihot esculenta,Crantz) in the humid tropics of West Africa. **Food and Nutrition Bulletin,** v. 2, p. 1-10, 1980.

OLIVEIRA, M. W. et al. Análise quantitativa do crescimento da variedade de cana-de-açúcar RB72454. In: ENCONTRO DE BOTÂNICOS DE MG, BA E ES, 23., 2001, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV/SBB, 2001. v. 1, p. 89.

OLSEN, K. M.; SCHAAL B. A. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of Manihot esculenta. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington**,** n. 96, p. 5586-5591, 1999.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. Microsatellite variation in cassava (Manihot esculenta, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. **American Journal of Botany**, Washington**,** v. 88, p. 131-142, 2001.

ORLANDO F. J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: USP, FEALQ, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H. P.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade, em três solos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico PLANALSUCAR,** Piracicaba**,** v. 2, n. 1, p. 1-127, 1980.

ORLANDO FILHO, J. et al. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 6, p. 30-33, jul./ago. 1998.

ORPLANA – ORGANIZAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL. **Perfil do Fornecedor**, ORPLANA, 2006. Acesso em < http://www.orplana.com.br >, acesso 15 jun. 2006.

PALMA, L.; ADAMS, R. I. Compatibilidade entre eficiência econômica e eficiência energética numa propriedade rural. In: NETTO, A. G.; ELMAR, R. (org.). **Experiência brasileira de pesquisa econômica em energia para o setor rural**. Brasília: MBRAPAPNPE/DEP, 1984. p. 55-64.

PASCHOAL, A. D. **Pragas, praguicidas e crise ambiental**: problemas e soluções. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (FGV), 1979. 106p.

PATAFOS. Nutri-fatos: Informações agronômicas sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo do Agrônomo**. Piracicaba, n. 10, 1996.

PATZEK, T. W. Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle. **Critical Reviews in Plant Sciences**, California**,** v. 23, n. 6, p. 519-567, 2004.

PATZEK, T. W.; ANTI, S. M.; CAMPOS, R.; HA, K. W.; LEE, J.; LI, B.; PADNICK, J.; YEE, S. A. Ethanol from corn: clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets?. **Environment, Development & Sustainability**, California, v. 7, p. 319-336, 2005.

PATZEK, T. W. A statistical analysis of the theoretical yield of ethanol from corn starch. **Natural Resources Research**, California, v. 15, n. 3, p. 205-212, 2006.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe**,** v. 52, n. 2, p. 9-111, 1992.

PEREIRA, A. S. Ervilha: uma fonte de nutrientes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte**,** v. 14, p. 52-54, 1989.

PIMENTEL, D., HURD, L. E., BELLOTTI, A.C., FORSTER, M. J., OKA, I. N., SHOLES, O. D., WHITMAN, R. J. Food production and the energy crises. **Science**, New York**,** v. 182, p. 9-443, 1973.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL M. **Food energy and society**. London: Edward Arnold, 1979. 163 p.

PIMENTEL, D. Energy inputs for the production formulation, packaging, and transport of various pesticides. In: PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1980. p. 45-48.

PIMENTEL, D. Comparative energy flows in agricultural and natural ecosystems. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL: ECOSSISTEMAS, ALIMENTOS E ENERGIA, 3, 1984, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: FINEP/PNDU/UNESCO, 1984. v. 4, p. 75-98.

PIMENTEL, D. Ethanol fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative. **Natural Resources Research**, California**,** v. 12, n. 2, p. 127-134, 2003.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production usinng corn, switchgrass, and wood: biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, Califórnia, v. 14, n. 1, p. 65-76, Mar. 2005.

PINTO, M. S. V. **Análise econômica e energética de sistema agroflorestal para mplantação na terra indígena Araribá – Município de Avaí – SP**. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PINTO, M.; ACEVEDO, E.; BERBER, H.; ESPINOZA, A. Uso de la energía en la explotación agrícola y florestal. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE LA ENERGÍA, 9., 1983, Santiago. **Uso eficiente de energía en Chile**: anais... Santiago: Comité Nacional Chileno, 1983. p. 80-247.

PORKWORLD ESTATÍSTICAS. Quem é quem na produção de milho no mundo. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/estatisticas/produção_milho_soja.html>. Acesso em: 19 maio 2002a.

PORKWORLD ESTATÍSTICAS. Milho: oferta e demanda mundiais. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/estatisticas/produção_milho_soja.html>. Acesso em: 12 maio 2002b.

PORKWORLD ESTATÍSTICAS. Produção nacional de milho. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/estatisticas/brasil.html>. Acesso em: 04 maio 2002c.

PORKWORLD ESTATÍSTICAS. Quem é quem na produção de milho no mundo. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/estatisticas/produção_milho_soja.html>. Acesso em: 8 ago. 2004.

PRADO, H. et al. **Levantamento pedológico do pólo regional de desenvolvimento tecnológico dos agronegócios do Médio Paranapanema, Assis, SP.** Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 19 p. (Série Pesquisa APTA. Boletim científico, 7).

PRADO, R. M. de.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, 2002.

PRAVISANI, C. I.; CALIFANO, A. N.; CALVELO, A. Kinetics of starch gelatinization in potatoes. **Journal of Food Science,** Argentina, v. 50, n. 4, p. 657-50, 1985.

PYKE, M. **Man and food**. New York: Mc Graw-Hill, 1970. 256 p.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. Balanços energéticos: uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.

REVELLE, R. Energy use in rural India. **Science**, California**,** v. 192, p. 969-75, 1976.

RICKARD, J. E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J. M. V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Science,** London, v. 31, p. 189-207, 1991.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Variação de temperatura de queimada de canavial. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 3., 1995, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: EDUSP, 1995. v. 1, p. 408.

RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) e do seu potencial energético.** 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)–Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JR, W. F.; NOGUEIRA, M. C. S.; MATTOS, J. R. Equivalente energético do palhiço da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 19., 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1990. p. 249-252.

RIPOLI, T. C. C.; VILA NOVA, N. A. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar: novos desafios. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 28-31, set./out. 1992.

RIPOLI, T. C.; BALASTREIRE, L. A.; MOLIN, J. P.; MOLINA JÚNIOR, W. F. **Sugar cane biomass energy in Brazil.** In: INTERNATIONAL CONGRESSO AGRICULTURAL ENGINEERING, 13., 1998, Morocco. **Anais...** Morocco: ICAE, 1998. v. 4, p. 51-57.

RIPOLI, T. C. C.; PARANHOS, S. B. Colheita. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1997. cap. 5, p. 519-597.

RISOUD, B. Développement durable et analyse énergétique d´exploitations agricoles. **Économie Rurale**, Paris**,** n. 252, p. 16-27, 1999.

RODRIGUES DOS SANTOS, R. **Análise energética do milho em sistema de plantio direto, em assentamento rural, itaberá/sp**. 2006. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models. **Remote Sensing of Environment,** New York**,** v. 33, n. 3, p. 183-192, 1990.

RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da Ciência do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1988. p. 405-414.

SAFO-KANTANKA, O.; OWUSU-NIPAH, J. Cassava varietal screening for cooking quality: relationship between dry matter, starch content, mealiness and certain microscopic observations of the raw and cooked tuber. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londrina, PR, v. 60, p. 99-104, 1992.

SAMPAIO, C. B.; CONCEIÇÃO, A. J. Competição de espaçamento (Salangozinha). In: PROJETO mandioca: relatório semestral de andamento e avaliação de pesquisa. Cruz das Almas: UFBA, 1972. 32 p.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III. conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília**,** DF, v. 22, p. 425-431, 1987.

SAMPAIO, I. **Mani-oca, delícia brasileira**. Campo Grande: Saber, 2005. 56 p.

SANTOS, H. P. Conversão e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-98, 2001.

SARTORI, M. M. P. Métodos matemáticos para a determinação de consumo de energia e de custos de produção da cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.). 1996. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Botucatu, 1996.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. **Agriculture**, **Ecosystem and Environment**. Dinamarca, v. 51, n. 3, p. 301-10, 1994.

SERRA, G. E.; HEEZEN, A. M.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas.** Brasília, DF: Secretaria de Tecnologia Industrial – Ministério da Indústria e Comércio, 1979. 86p.

SHAPOURI, H.; DUFFIELD, J. A.; WANG, M. **The energy balance of corn ethanol:** an update. Washington, DC: US Department of Agriculture, Office of Energy Policy and New Uses, 2002. 19 p.

SHEEHAN, J.; ADEN, A.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; BRENNER, J.; WALSH, M.; NELSON, R., Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol, Journal of Industrial Ecology, v. 7, n. 3, p. 117–146. 2004.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 311-317, 1998.

SILVA, J. G. da,; SERRA, G. E. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. **Science**, Washington, DC, v. 201, n. 4358, p. 903-906, Sept. 1978.

SILVA, J. R. de. O programa de investigação sobre mandioca no Brasil. **O Agronômico**, Campinas**,** v. 23, p. 33-48, 1971.

SIQUEIRA, L. A. **Mandioca**: resultados experimentais. Cruz das Almas: IPEAL, 1973. 34 p. (Circular, 36).

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S. Manejo do solo para mandioca. In: OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (Eds.). **Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste; Campo Grande: UNIDERP, 2002. p. 109-125.

SPAROVECK, G. et al. Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado da cana-de-açúcar. **STBA, Açúcar, álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 5, p. 14-17, 1997.

STUPIELLO, J. P. Alguns aspectos da qualidade da matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, cap. 7, p. 765-804.

TAKAHASHI, M.; GONÇALO, S. **A cultura da mandioca.** Paranavaí: 2001. 37 p.

TANAKA, R. T.; LOPES, A. S.; PONTE, A. M. da. Calagem e adubação da mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 5, n. 59/60, p. 54-62, 1979.

TARDIN, A. T.; ASSUNÇÃO, G. V.; SOARES, J. V. Análise preliminar de dados TM para discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas, MG, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 27, n. 9, p. 1355- 1361, 1992.

TAVARES FILHO, J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 393-399, 1999.

TEIXEIRA, C. M. **Diferentes palhadas e doses de nitrogênio no plantio direto do feijoeiro**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

TIMM, L. C. **Efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TROMP, T. K.; SHIA, R. L.; ALLEN, M.; EILER, J. M.; YUNG, Y. L. Potential environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere, **Science**, Washington, DC, n. 300, p. 1740–1742, 2003.

TSATSARELIS, C. A. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amesterdam, v. 43, p. 18-109, 1993.

TSUNECHIRO, A. et al. Valor da produção agropecuaria do estado de São Paulo em 2006. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 52-63, abr. 2007.

ULBANERE, R. C. **Análise de balanços energéticos e econômicos relativa à produção e perdas de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 1988. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA ESTADO DE SÃO PAULO. **Memória, cana-de-açúcar e sociedade**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br>. Acesso em: 16 jun. 2006.

UNIÃO CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. **Cenários 2004/2005:** cana, açúcar e álcool. ÚNICA, 2005. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/portalunica/>. Acesso em: 18 mar. 2006.

URQUIAGA, A.; RODRIGUES ALVES, B. J.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Política Agrícola**, Brasília, **v.** 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

VEIGA FILHO, A. A. Experiências históricas internacionais de mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Informações Econômicas,** São Paulo, v. 28, n. 7, p. 11-21, 1998.

VERLINDEN, B. E.; NICOLAI, B. M.; BAERDEMAEKER, J. D. The starch gelatinization in potatoes during cooking in relation to the modeling of texture kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 24, p. 165-179, 1995.

VON BLOTTNITZ, H. et al. damage costs of nitrogen fertilizer in europe and their internalization. **Environmental Management Plan.**, Hong Kong, **v.** 49, p. 413–433, 2006.

WAACK, R. S.; NEVES, M. F. **Competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar.** Poços de Caldas, MG**:** IPEA, 1998.

WALTER, A. C. S. **Viabilidade e perspectivas da co-geração termelétrica no setor sucroalcooleiro.** 1994. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

WANG, M. ; SARICKS, C. ; WU, M. **Fuel-cycle fossil energy use and greenhouse gas emissions of fuel ethanol produced from U.S. Midwest corn.** Argonne, IL: Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Argonne National Laboratory, Center for Transportation Research, 1997. Disponível em: <http://www.ce.cmu.edu/~gdrg/readings/2006/03/21/Blottnitz>. Acesso em: 14 mar. 2007.

WHITE, P. J.; JOHNSON, L. A. (Eds.). Corn chemistry and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2003. 892 p.

WIEGAND, C.; ANDERSON, G.; LINGLE, S.; ESCOBAR, D. Soil salinity effects on crop growth and yield: illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. **Journal of Plant Physiology,** v.148, n. 3, p. 418-424, 1996.

YANG, X. H.; ZHOU, Q. M.; MELVILLE, M. Estimating local sugarcane evapotranspiration using Landsat TM image and a VITT concept. **International Journal of Remote Sensing,** v.18, n. 2, p. 453-459, 1997.

YMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura. In: SIQUEIRA, J. O. **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências do Solo, 1999. p. 337-362.

YOUNG, S. B.; VANDERBURG, W. H. Applying environmental life-cycle analysis to materials, **JOM**, Toronto, v.46, n.4, p.22-27, 1994.

ZANINI, A.; CAMPOS, A. T.; PRESTES, T. M. V.; DALMOLIN, M. F. S.; CAMPOS, A. T. de; KLOSOWSKI, E. S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, PR**,** v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.

APÊNDICE

1. Memória de cálculos, de procedimentos e pesquisa de campo

Tabela 14. Sistematização dos dados sobre a extração, a reciclagem e a exportação de macronutrientes, sintetizados da revisão bibliográfica

Cultivo	Modo	N	P	K	Ca	Mg	S	kg ha^{-1}
Cana	Exportação	96	11	82	49	32	25	295
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ	**7.041,86**	**67,148**	**626,898**	**384,252**	**151,931**	**157,947**	**8.430,036**
	Devolução	67	09	104	42	14	15	251
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ kg^{-1}	**4.914,33**	**54,939**	**795,09**	**329,36**	**66,470**	**94,768**	**6.254,957**
Total	MJ kg^{-1}							**14.684,99**
Milho	Exportação	152	37	46	04	15	14	268
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ kg^{-1}	**11.149,16**	**225,861**	**351,674**	**31,367**	**71,217**	**88,450**	**11.923,73**
	Devolução	86	14	164	34	30	23	351
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ kg^{-1}	**6.308,335**	**85,461**	**1.253,796**	**266,624**	**142,435**	**145,311**	**8.201,974**
Total	MJ kg^{-1}							**20.125,70**
Mandioca	Exportação	69	14	100	20	12	04	219
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ kg^{-1}	**5.061,34**	**85,461**	**764,510**	**156,838**	**56,974**	**6,036**	**6.131,159**
	Devolução	163	34	129	89	26	11	453
	Kcal kg^{-1}	17.520	1.458	1.826	1.873	1.134	1.509	
	MJ kg^{-1}	**11.956,49**	**207,548**	**986,217**	**697,927**	**123,444**	**69,497**	**14.041,13**
Total								**20.172,29**

Fonte: Dados de pesquisa, 2006.

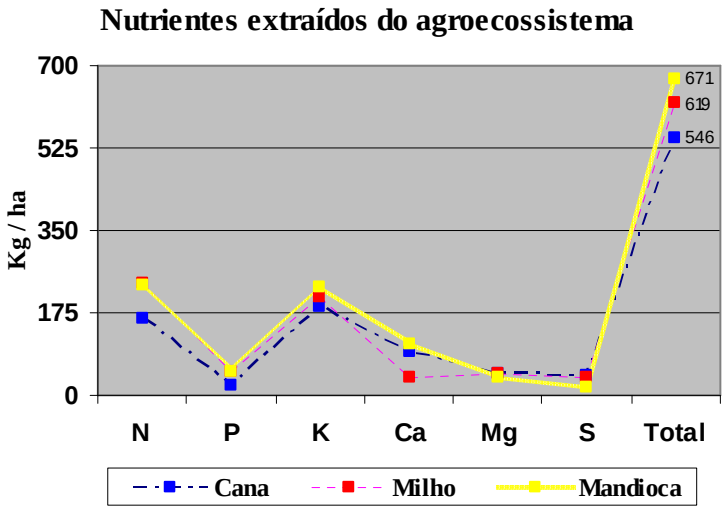

Figura 15. Macronutrientes extraídos do agroecossistema de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho
Fonte: Dados de pesquisa, 2006.

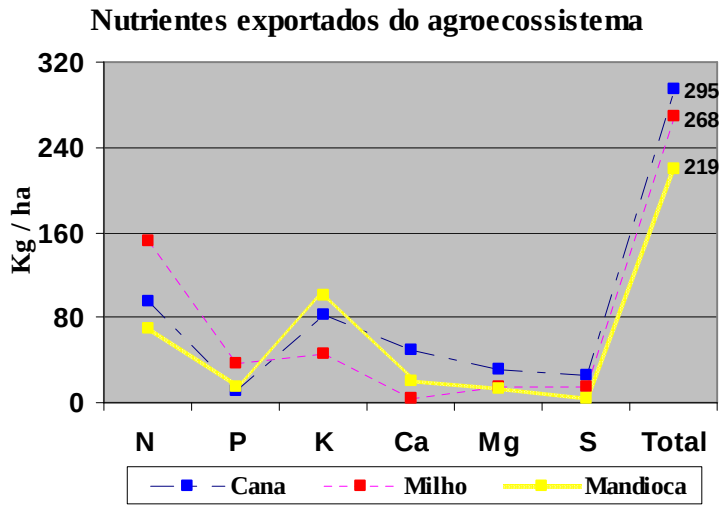

Figura 16. Macronutrientes exportados do agroecossistema de um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho
Fonte: Dados de pesquisa, 2006.

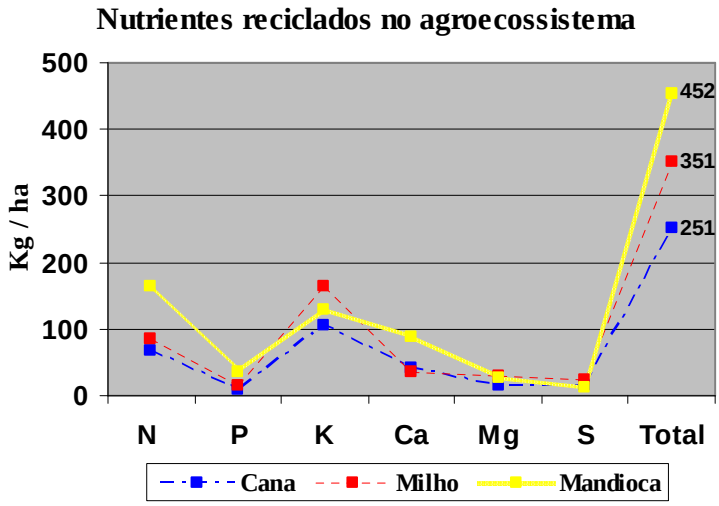

Figura 17. Macronutrientes reciclados no agroecossistema em um hectare das matérias-primas cana-de-açúcar, mandioca e milho
Fonte: Dados de pesquisa, 2006.

1.1 Parâmetros Laboratoriais

Um kcal é a energia necessária para elevar 1g de H2O em 1^{o}C (14,5 a 15,5). Portanto, serão necessários 1000cal de energia para elevar 1000g de H2O em 1^{o}C, ou 1 kcal para cada 1 kg de H2O. Sendo assim, convencionou-se que para elevar em 1^{o}C a temperatura de 1 kg de H2O serão gastos 1kcal de energia. Desse modo, para elevar a massa de 1 kg de H20 de uma temperatura de 20 ^{o}C para uma temperatura de 100 ^{o}C serão necessários 80 kcal de energia ou 0,335 MJ. De posse dessas informações determina-se que para atingir a temperatura de fervura de 1000 litros de H2O serão empregados 335 MJ de energia.

Em testes realizados por Salla e Cabello (2006), no CERAT/UNESP – Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Universidade Estadual Paulista, determinou-se que para hidrolisar 1000 kg de raízes de mandioca (62% de água e 33% de amido) são adicionados 1600 litros de H20. Desse modo, a hidrólise de 1000 kg de raízes de mandioca demanda o aquecimento de 2.220 litros de H2O (1600 + 620 do conteúdo das raízes) e para obter a fervura, somente da água, são necessários 743,7 MJ de energia. Para a determinação da gelatinização e da taxa de degradação do amido, adotou-se para a mandioca e o milho os mesmos valores encontrados para o amido de batatas, Kozempel (1988), que é de 43 kcal/mol

de energia, independente da textura e da variedade. Desse modo a gelatinização de 1 kg de amido demanda 1 MJ de energia.

Ex: 43 kcal em 180g de amido

X kcal em 1000g de amido

X= 1 MJ/kg de amido.

Assim, para hidrolisar 1000 kg de raízes de mandioca (62% de umidade e 30% de amido) são necessários:

a) 743,7 MJ (para atingir o ponto de ebulição da água, 100 ^{o}C)
b) 380 MJ (para gelatinizar 300 kg de amido + 30 kg de açúcar + 50 kg de outros)
c) 10% de energia para manutenção da temperatura durante o processo de sacarificação.

Total = 743,7 MJ + 380 MJ + 10% = 1123,7 MJ + 112,37 = **1.236,07 MJ**

Para hidrolisar 1000 kg de grãos de milho (13% de umidade e 50,4% de amido) são necessários 3300 litros de H2O (3170 adicionados na moagem + 130 do conteúdo dos grãos) que demandam 1105,5 MJ de energia para atingir a ebulição da água, 504 MJ de energia para gelatinizar o amido e + 15% para manter a temperatura durante o processo de sacarificação, totalizando **1.851,00 MJ.** Em 1000 kg de milho = 504 kg de amido = 560 kg de açúcar * 0.59 = 330,4 litros de etanol.

Para o tratamento a quente do caldo, ou seja, fazer a esterilização, sulfatação (adição de enxofre) decantação e retirada de impurezas do caldo proveniente de 1 tonelada de colmos de cana-de-açúcar são necessários 500 kg de vapor. Sendo 1 kg de vapor = 2, 3446 MJ, o tratamento de 1 tonelada de cana-de-açúcar demanda 1.172,3 MJ (500 kg de vapor * 2,3446 MJ).

Destilação de 1000 kg de raízes de mandioca

1 kg vapor = 560 kcal * 0, 0041868 = 2,3446 MJ. São necessários 2 kg de vapor para destilar 1 litro de etanol. Então, 560 kcal = 2, 3446MJ * 2 kg de vapor/litro de etanol destilado = 4, 6892 MJ * 187 litros de etanol/t de mandioca = 876,9 MJ/ tonelada de mandioca.

Destilação de 1000 kg de grãos de milho

1 kg vapor = 560 kcal. 560 kcal = 2,3446 MJ. São necessários 2 kg de vapor para destilar 1 litro de etanol. Então, 560 kcal = 2, 3446 MJ * 2 kg de vapor/litro de etanol destilado = 4, 6892 MJ * 330,4 litros de etanol/t de milho = 1.549,3 MJ/ tonelada de milho.

Destilação de 1000 kg de colmos de cana-de-açúcar

1 kg vapor = 560 kcal. 560 kcal * 0,0041868 = 2,3446 MJ. São necessários 2 kg de vapor para destilar 1 litro de etanol. Então, 560 kcal = 2, 3446MJ * 2 kg de vapor/litro de etanol destilado = 4,6892 MJ * 84,7 litros de etanol/t de cana-de-açúcar = 397,2 MJ/ tonelada de cana-de-açúcar.

Tabela 15. Estimativa de produção de etanol, a partir da produtividade média encontrada na pesquisa de campo

COMPONENTE	Mandioca	Milho	Cana-de-açúcar
Produtividade agrícola (t/ha.ano)	33,0	6,0	85,0
Açúcares fermentescíveis totais (%)	33,0	56,0	14,5
Produtividade em açúcares (t/ha.ano)	10,5	3,36	12,3
Conversão etanol (m^3 /t açúcar) (f.o,46)	0,59	0,59	0,59
Produtividade etanol (m^3 /ha.ano)	6,2	1,98	7,2

Fonte: Dados de pesquisa, 2007.

Tabela 16. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de mandioca.

ATIVIDADES	Horas trabalhadas (H ha^{-1})	Índice energético (MJ h^{-1})	Total (MJ ha^{-1})
Mão de obra			
Operações de preparo de solo (gradagens) *		1,2	
Marcação de carreadores *		1,2	
Levantamento do terraço *		1,2	
Corte e preparo das ramas **		1,2	
Transporte das ramas **		1,2	
Plantio manivas **		1,2	
Capina manual ***		1,2	
Cultivador (capina mecânica) (3X) ***		1,2	
Poda ***		1,2	
Aplicação de Herb (2x) ***		1,2	
Aplicação de Inset. (2X) ***		1,2	
Roçar e afofar ****		1,2	
Colheita ****		1,2	
Manutenção de máquina e equipamentos ***		1,2	
Subtotal			

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 17. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de mandioca

ATIVIDADES	Potência do equipamento	Tipo de combustível	Total de Comb (Litros ha^{-1})	Índice Energético (MJ l^{-1})	Total (MJ ha^{-1})
Operações mecanizadas					
Aplicação de calcário *****		diesel		40,64	
Gradagem pesada (1X) *****		diesel		40,64	
Gradagem leve (1X) *****		diesel		40,64	
Marcação dos carreadores *****		diesel		40,64	
Levantamento do terraço *****		diesel		40,64	
Plantio ******		diesel		40,64	
Aplicação de herbicidas (2X) *******		diesel		40,64	
Aplicação de inseticidas (2X) *******		diesel		40,64	
Cultivador - capina mecânica (3X) *******		diesel		40,64	
Adubação de cobertura (1X) *******		diesel		40,64	
Dessecação *******		diesel		40,64	
Roçagem e afofador ********		diesel		40,64	
Transporte interno e carregamento da raiz ********		diesel		40,64	
Transporte externo da raiz até a indústria *********		diesel		40,64	
Drenagem energética ***********		depreciação			
Subtotal					

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 18. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de mandioca

INSUMOS	Unidade	Quantidade (há)	Índice energético (MJ)	Total (MJ ha^{-1})
Calcário ******	kg		0,20	
Manivas ******	m³		82,33	
Herbicidas ******	kg		302,00	
Inseticidas ******	kg		306,60	
Adubos (2.20.20) 208 kg ******	kg			
Nitrogênio (N)	kg		73,35	
Fósforo (P2O5)	kg		13,98	
Potássio (K2O)	kg		9,21	
Adubação cobertura - KCL (00.00.60)	kg		7,25	
Subtotal				
Total Geral do Agronômico				

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 19. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca

EQUIPAMENTO	Capacidade processamento ($t\ h^{-1}$)	Potência total (hp)	Conversão ($MJ\ hp^{-1}$)	Consumo da operação (MJ)	Total ($MJ\ t^{-1}$)
Desintegração e moagem					
Balança de pesagem (1)			2,6845		
Rampa de descarga (1)			2,6845		
Rosca transportadora de raízes (1)			2,6845		
Pré-lavador (1)			2,6845		
Correa transportadora (1)			2,6845		
Lavador de raízes (2)			2,6845		
Tiragem da casquinha			2,6845		
Esteira transport. de raiz limpa (1)			2,6845		
Picador de raízes			2,6845		
Rosca transport. de raiz picada (4)			2,6845		
Caixa alimentadora (roscas sem fim)			2,6845		
Cevadeira (3)			2,6845		
Preparo do mosto (diluição)			2,6845		
Bomba de transferência (2)			2,6845		
Hidrólise					
• Misturadores (4)			2,6845		
• Bomba de transferência (2)			2,6845		
• Bomba de resfriamento (2)			2,6845		
Sacarificação					
• Agitadores (4)			2,6845		
• Bomba de transferência (2)			2,6845		
Fermentação					
• Agitadores (7)			2,6845		
• Bomba de transferência (1)			2,6845		
Destilação					
• Transferência /vinho volante (2)			2,6845		
• Agitador do vinho volante (1)			2,6845		
• Transferência / vinho coluna (2)			2,6845		
• Bomba Flegma (2)			2,6845		
• Bomba vinhaça (2)			2,6845		
• Bomba álcool fino (2)			2,6845		
Vinhaça (35.000 l/h)					
• Agitador de vinhaça (3)			2,6845		
• Carregamento da Vinhaça (2)			2,6845		
Caldeira					
• Exaustor			2,6845		
• Bomba d`água (2)			2,6845		
• Porta da caldeira e carrinho de lenha			2,6845		
Subtotal					

Tabela 20. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca

ATIVIDADES	Horas trabalhadas (h ano^{-1})	Processamento da mandioca (t ano^{-1})	Total (h t^{-1})	Índice Energético (MJ h^{-1})	Total (MJ t^{-1})
Atividades gerais de processamento				1,20	
Substituição de serrinhas				1,20	
Subtotal					

Tabela 21. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com materiais de manutenção das operações de processamento industrial de uma tonelada de mandioca

ATIVIDADES	Peso total (kg ano^{-1})	Processamento de mandioca (t ano^{-1})	Total (kg t^{-1})	Índice energético (MJ kg aço^{-1})	Total (MJ t^{-1})
Substituição das serrinhas				27,00	
Subtotal					
Total Geral do Processamento Industrial					

Tabela 22. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de cana-de-açúcar

ATIVIDADES	Horas trabalhadas (H ha-1)	Índice energético (MJ hora-1)	Total (MJ ha-1)
Mão de obra			
Implantação da lavoura			
Operações de preparo de solo (gradagens) *		1,2	
Marcação de carreadores *		1,2	
Levantamento do terraço *		1,2	
Corte e preparo da muda **		1,2	
Descarreg./esparram./repicagem (plantio) **		1,2	
Acabamento e recobrimento **		1,2	
Aplicação de Herbicida ***		1,2	
Aplicação de inseticida (cupim) ***		1,2	
Aplicação de Formicida ***		1,2	
Colheita e manutenção da soqueira			
Operação da colheitadeira ****		1,2	
Operação de transbordo ****		1,2	
Transporte cana para usina *****		1,2	
Capina manual ***		1,2	
Enleiramento da palha ***		1,2	
Cultivador (subsolador, adub., cobertura) ***		1,2	
Conservação de carreadores ***		1,2	
Manutenção de estradas ***		1,2	
Aplicação herbicida ***		1,2	
Aplicação aérea maturador ***		1,2	
Transp. interno insumos ***		1,2	
Manutenção e transporte de máquinas (caminhão prancha, graxa, abastecimento) ***		1,2	
Subtotal			

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 23. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de cana-de-açúcar

ATIVIDADES	Potência do equip	Tipo de Comb	Total de comb. (l ha^{-1})	Índice energético (MJ l^{-1})	Total (MJ ha^{-1})
Operações mecanizadas					
Implantação da lavoura					
Gradagem aradora (2x) *		diesel		40,64	
Gradagem niveladora (2x) *		diesel		40,64	
Marcação dos carreadores *		diesel		40,64	
Levantamento do terraço *		diesel		40,64	
Aplicação de calcário **		diesel		40,64	
Sulcação/adubação **		diesel		40,64	
Carregamento e transporte da muda p/ plantio **		diesel		40,64	
Cobrição **		diesel		40,64	
Aplic. Herbicida ***		diesel		40,64	
Drenagem energética *******		depreciação			
Colheita e manutenção da soqueira					
Colheita mecanizada ****		diesel		40,64	
Transbordo ****		diesel		40,64	
Transporte cana para usina *****		diesel		40,64	
Enleiramento da palha ***		diesel		40,64	
Cultivador (subsolador, adub., cobertura) ***		diesel		40,64	
Conservação de carreadores ***		diesel		40,64	
Manutenção de estradas ***		diesel		40,64	
Aplicação herbicida ***		diesel		40,64	
Aplicação aérea maturador ***		álcool		23,37	
Transp. interno insumos ***		diesel		40,64	
Manutenção e transporte de máquinas (caminhão prancha, graxa, abastecimento etc) ***		diesel		40,64	
Drenagem energética *******		depreciação			
Subtotal					

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética

Tabela 24. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de cana-de-açúcar

INSUMOS	Unidade	Quant/ha	Índice energético (MJ)	Total MJ ha-1
Instalação da lavoura				
Calcário ******			0,20	
Mudas de cana-de-açucar ******			30,00	
Herbicida ******			302,00	
Cupinicida ******			306,60	
Formicida ******			306,60	
Adubos (5.25.25) 80 kg ao ano cana planta *******				
Nitrogênio (N)			73,35	
Fósforo (P2O5)			13,98	
Potássio (K2O)			9,21	
Manutenção da soqueira				
Herbicida ******			302,00	
Adubo (20.00.30) - soqueira 300 kg ******				
Nitrogênio (N)			73,35	
Fósforo (P2O5)				
Potássio (K2O)			9,21	
Maturador ******			302,00	
Subtotal				
Total Geral do Agronômico				

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 25. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações mecanizadas de processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar

EQUIPAMENTO	Característica do equipamento	Capacidade Processam. (t. h^{-1})	HP	Conversão ((MJ HP^{-1})	Consumo da operação (MJ)	TOTAL (MJ t^{-1})
Desintegração e moagem						
Balança de pesagem (2)				2,6845		
Sonda vertical (2)				2,6845		
Hilos (2)				2,6845		
Esteira metálica (2)				2,6845		
Mesa alimentadora (2)				2,6845		
Sistema de bomb. de água p/lavagem				2,6845		
Tambor alimentador				2,6845		
Desfibrador				2,6845		
Espalhador cana desfibrada				2,68445		
Esteira transp. cana desfib.				2,6845		
Eletroímã				2,6845		
Esteira de arraste de moenda p/outra				2,6845		
Moendas (2 x 12 conjuntos)				2,6845		
Sistema de bombeamento de água para o último conjunto de moendas				2,6845		
Hidrólise e sacarificação						
Peneira rotativa (filtro/caldo)				2,6845		
Tratamento do caldo (aquec. /resf./decantação)						
Sistema de bombeamento do caldo até as dornas				2,6845		
Fermentação						
• Agitadores (7)				2,6845		
• B. de transferência (1)				2,6845		
Destilação						
• Transf. Do vinho volante				2,6845		
• Agitador do vinho vol.				2,6845		
• Transf. Do vinho coluna				2,6845		
• Bomba Flegma				2,6845		
• Bomba vinhaça				2,6845		
• Bomba álcool fino				2,6845		
Vinhoto						
• Agitador de vinhoto				2,6845		
• Carregamento do vinhoto				2,6845		
Caldeira						
• Exaustor				2,6845		
• Bomba d`água (2)				2,6845		
• Esteira transp. de bagaço				2,6845		
Subtotal						

Tabela 26. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de cana-de-açúcar

ATIVIDADE	Hora trabalhada (h ano^{-1})	Processamento de cana (t. ano^{-1})	Total (H t^{-1})	Índice energético (MJ hora^{-1})	Total (MJ t^{-1})
Atividades gerais de processamento				1,20	
Recuperação de rolos/camisa (solda)				1,20	
Substituição de rolos/camisa				1,20	
Subtotal					

Tabela 27. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com materiais de manutenção das operações de processamento industrial de uma tonelada de cana-de-açúcar

ATIVIDADE	Peso total (kg ano^{-1})	Produção de cana (t. ano^{-1})	Total (kg t^{-1})	Índice energético (MJ kg aço^{-1})	Total (MJ to^{1})
Recuperação de rolos/camisa (solda)				27	
Substituição de rolos/camisas				27	
Consumo de eletricidade (solda)					
Subtotal					
Total Geral do Processamento Industrial					

Tabela 28. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com o trabalho humano nas operações de cultivo de um hectare de milho

ATIVIDADES	Horas trabalhadas (h ha^{-1})	Índice energético (MJ h^{-1})	Total (MJ ha^{-1})
Mão de obra			
Dessecação *		1,2	
Manutenção de carreadores *		1,2	
Manutenção do terraço *		1,2	
Aplicação de calcário *		1,2	
Tratamento das sementes **		1,2	
Plantio/adubação **		1,2	
Cultivador ***		1,2	
Aplicação de formicida ***		1,2	
Aplicação de herbicida (2X) ***		1,2	
Aplicação de inseticidas (2X) ***		1,2	
Colheita mecanizada ****		1,2	
Manutenção e transporte de máquinas ***		1,2	
Transporte interno de insumos ***		1,2	
Transporte externo (semente à indústria) *****		1,2	
Subtotal			

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 29. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com as operações mecanizadas de cultivo de um hectare de milho

ATIVIDADES	Potência do Equipam.	Tipo de Combust.	Total de combust. (l ha^{-1})	Índice energético (MJ l^{-1})	Total (MJ ha^{-1})
Operações mecanizadas					
Dessecação *		diesel		40,64	
Manutenção de carreadores *		diesel		40,64	
Manutenção do terraço *		diesel		40,64	
Aplicação de calcário *		diesel		40,64	
Plantio/adubação **		diesel		40,64	
Adubação de cobertura ***		diesel		40,64	
Aplicação de herbicida (2X) ***		diesel		40,64	
Aplicação de inseticidas (2X) ***		diesel		40,64	
Colheita mecanizada ****		diesel		40,64	
Manutenção e transporte de máquinas (caminhão, graxa, prancha, abastecimento etc) ***		diesel		40,64	
Transporte interno de insumos ***		diesel		40,64	
Transporte externo (semente até a indústria) *****		diesel		40,64	
Drenagem energética *******		Depreciação			
Subtotal					

* Preparo de área; ** Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ****Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 30. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético com os insumos utilizados no cultivo de um hectare de milho

INSUMOS	Unidade	Quantidade (ha)	Índice energético (MJ)	Total (MJ ha^{-1})
Calcário ******	kg		0,20	
Herbicida ******	l		302,00	
Inseticidas ******	kg		306,00	
Formicida ******	kg		306,00	
Sementes ******	kg		33,23	
Adubos (8.20.20) 400 kg ******				
Nitrogênio (N)	kg		73,35	
Fósforo (P2O5)	kg		13,98	
Potássio (K2O)	kg		9,21	
Adubação cob. - Uréia - 100kg - NH4 - 45%N				
Nitrogênio (N)	kg		73,35	
Subtotal				
Total Geral do Agronômico				

* Preparo de área; **Plantio; *** Condução da lavoura; **** Colheita; ***** Transporte externo até a indústria; ****** Insumos; ******* Drenagem energética.

Tabela 31. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético nas operações de processamento de uma tonelada de milho

EQUIPAMENTO	Capacidade de processamento ($t\ h^{-1}$)	Potencia total (HP)	Conversão ($MJ\ HP^{-1}$)	Consumo da operação em (MJ)	Total ($MJ\ t^{-1}$)
Desintegração e moagem					
Balança de pesagem			2,6845		
Moinho (2)			2,6845		
Rosca espiral (6)			2,6845		
Hidrolise					
Diluição			2,6845		
• Esteira de fubá (2)			2,6845		
• Bomba fubá diluído (2)			2,6845		
• Misturadores (4)			2,6845		
• Bomba de transferência (2)			2,6845		
• Bomba de resfriamento (2)			2,6845		
Sacarificação					
• Agitadores (4)			2,6845		
• Bomba de transferência (2)			2,6845		
Fermentação					
• Agitadores (7)			2,6845		
• Bomba de transferência (1)			2,6845		
Destilação			2,6845		
• Transferência do vinho volante (2)			2,6845		
• Agitador do vinho volante (1)			2,6845		
• Transferência do vinho coluna (2)			2,6845		
• Bomba Flegma (2)			2,6845		
• Bomba vinhaça (2)			2,6845		
• Bomba álcool fino (2)			2,6845		
Vinhaça (35.000 l/h)					
• Agitador de vinhaça (3)			2,6845		
• Carregamento da Vinhaça (2)			2,6845		
Caldeira					
• Exaustor			2,6845		
• Bomba d`água (2)			2,6845		
• Porta da caldeira e carrinho de lenha			2,6845		
Subtotal					

Tabela 32. Coleta e sistematização dos dados para determinação do dispêndio energético do trabalho humano nas operações de processamento industrial de uma tonelada de milho

ATIVIDADES	Horas trabalhadas (h ano^{-1})	Processamento de milho (t. ano^{-1})	Total (h t^{-1})	Índice energético (MJ $h^{-1)}$	Total (MJ t^{-1})
Atividades gerais de processamento				1,2	
Subtotal					
Total Geral do Processamento Industrial					

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo