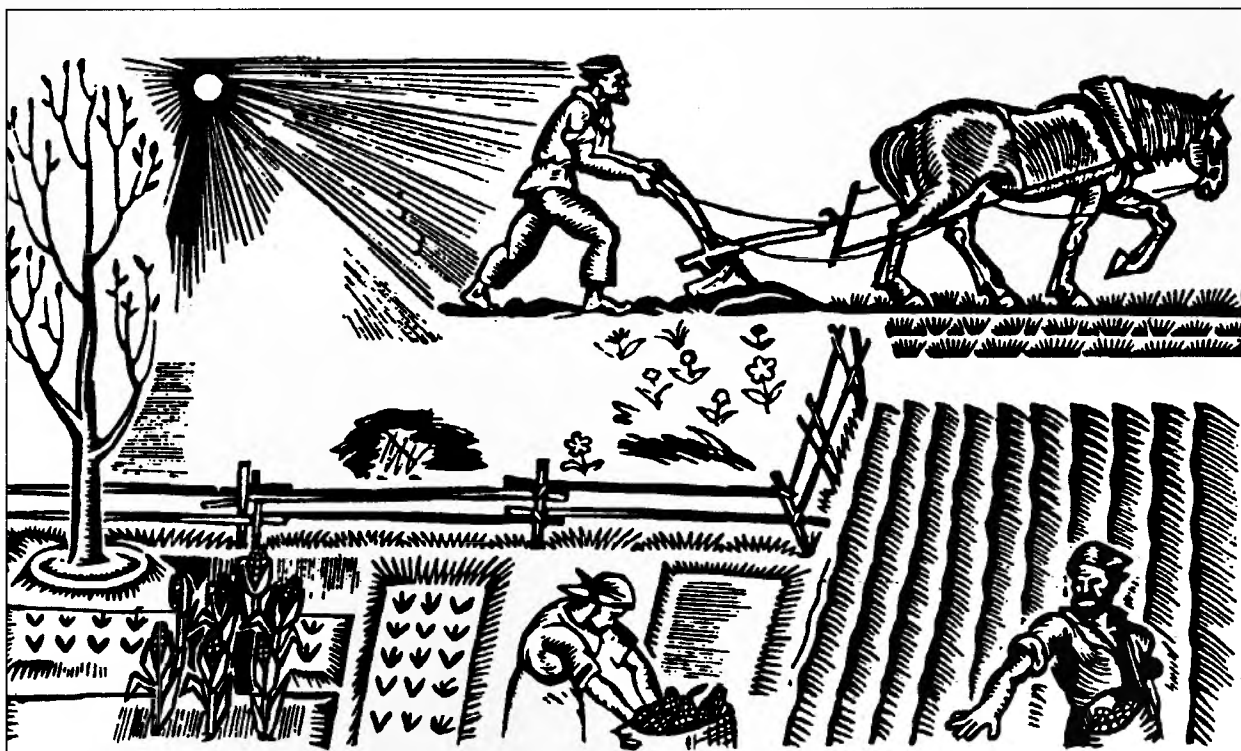


# UM MODELO PARA ANÁLISE ENERGÉTICA DE AGROECOSSISTEMAS



## RENATO DE MELLO

Mestre em Engenharia de Produção e Professor Assistente da Universidade Federal de São Carlos.

**RESUMO:** Este trabalho apresenta a argumentação teórica da entropia como referencial para análise de agroecossistemas, propõe uma metodologia para tal análise baseada no estudo dos fluxos de energia, e discute os valores energéticos dos fatores físicos da produção agrícola. É mostrado, ainda, o exemplo da aplicação do modelo a um sistema de produção de milho adotado no Estado de Santa Catarina, Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** entropia, energia na agricultura, agroecossistema.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e científico oriundo da revolução industrial afetou profundamente os processos de produção agrícola. A agricultura moderniza-se, são incorporadas grandes extensões de novas terras à produção, a produtividade agrícola aumenta consideravelmente, as populações crescem e o consumo de energia escassa e não renovável assume grandes proporções.

Entre os diversos fatores que concorrem para a modernização da agricultura, a intensificação do uso da energia é identificada como fator determinante. A incorporação de novas terras à produção é viabilizada com a disponibilidade de melhores ferramentas, de máquinas movidas a combustíveis, de meios de transporte mais eficientes e

com o controle ambiental feito com uso de produtos químicos. Esses mesmos insumos químicos e máquinas são os grandes vetores do aumento de produtividade, principalmente através da fertilização do solo, do uso de praguicidas e do aumento do trabalho realizado. Todos esses fatores implicam no incremento do dispêndio de energia.

O aumento populacional das áreas ocupadas tem também uma estreita relação com o aumento da produção agrícola e seu conseqüente dispêndio de energia. São mais produtos agrícolas disponíveis para uma população que requer uma demanda crescente de produção. Para o incremento e modernização da produção agrícola não basta apenas a posse da terra e do trabalho, são necessários um crescente acesso aos combustíveis, aos insumos intensivos em energia, e uma estrutura reguladora de mercado que também consume energia.

No Brasil, embora ainda se pratique em partes do país uma agricultura rudimentar ou simplesmente a coleta, a modernização da agricultura voltada para a exportação, para a produção de energia, para alimentação de animais e demais culturas intensivas em uso de insumos industrializados é fenômeno recente e está estreitamente ligado à instalação aqui de fábricas de tratores, adubos e defensivos.

Grandes esforços são empreendidos anualmente no país para manutenção e/ou incremento da produção agrícola, esforços esses compostos, em grande parte, por financiamentos estatais diretamente à produção ou a projetos de sustentação desta e, outra parte, pela iniciativa privada, sendo considerados na avaliação desses investimentos usualmente os parâmetros de viabilidade financeira e custo social. Este trabalho propõe que sejam também considerados os fluxos de energia nesses sistemas produtivos.

Uma análise apenas econômico-financeira permite conhecer os fluxos e taxas de retorno do capital investido em um horizonte de tempo pequeno, sujeita à instabilidade de mercado e do sistema financeiro e restrita ainda no espaço. Por outro lado, quando são avaliados os fluxos de energia que compõem o sistema, acrescenta-se um referencial que não está sujeito a mudanças mercadológicas ou financeiras, não é limitado no tempo ou espaço, mas, antes, se submete às leis da natureza.

A análise física da produção agrícola deve ser compreendida no contexto de recursos escassos (principalmente os energéticos), mas considerando sempre que o objetivo dessa produção está relacionado ao bem-estar e continuidade da vida humana, sendo obviamente regulada por nossas

estruturas políticas e sociais. Uma análise energética de sistemas de produção deve, portanto, ser parte de um sistema que englobe ainda análises econômico-financeira, social e implicações políticas.

A viabilização da análise de um sistema de produção agrícola através de seus fluxos de energia envolve a determinação da energia contida em cada um de seus fatores físicos de produção, da energia gasta na obtenção de tais fatores e ainda o conhecimento de como esses fatores interagem.

Este trabalho propõe um modelo para análise energética de sistemas agrícolas e traz um exemplo de sua aplicação em um sistema em uso no Estado de Santa Catarina, onde o modelo foi desenvolvido.

## POR QUE E COMO SE FAZ ANÁLISE ENERGÉTICA DE AGROECOSSISTEMAS

### 1. A Agricultura e a Energia

Para garantir alimentação, proteção, transporte, saúde, diversão e outras funções e bens de consumo, sempre se gasta muita energia, independente da forma em que ela se apresenta. Entretanto, energia não se transforma automaticamente em alimentos, fibras e resinas, mas flui em materiais que interagem e realizam trabalho. Ora esta se apresenta na forma de radiação solar que alimenta a fotossíntese, ora como o trabalho humano ou animal, ou ainda contida em combustíveis, fertilizantes, ferramentas, sementes e demais insumos da agricultura. Para obter esses insumos, realiza-se trabalho, o que demanda energia, que pode existir armazenada em seus materiais.

Um sistema produtivo qualquer processa matérias e energia com objetivo de torná-las disponíveis aos interesses do homem. Esse processamento dissipa energia na forma de aquecimento do meio ambiente, ruídos, desgastes de materiais, lixo etc. Ora, os recursos energéticos armazenados no planeta são finitos e a sua renovação com a entrada da radiação solar se dá de maneira muito lenta, contrária ao volume intenso de degradação desses recursos e ao baixo rendimento energético dos processos produtivos. Torna-se necessária, então, a revisão do gerenciamento desses processos e estoques de recursos à luz das primeiras leis da termodinâmica:

1ª) a quantidade de energia de um sistema fechado é constante;

2ª) a qualidade dessa energia se degrada de maneira irreversível.

Uma exceção a esses processos, onde, em lugar de se dissipar o capital energético do planeta, se

pode captar e armazenar em grande escala energia de fora do sistema terra, encontra-se na agricultura. Por meio da fotossíntese, as plantas utilizam a radiação solar para realizar reações químicas, dando origem a carboidratos, proteínas, celulose etc. Essas reações, na presença da energia solar, elevam compostos minerais a formas orgânicas, que possuem nível mais alto de conteúdo energético que seus materiais formadores.

A concorrência entre os homens e demais seres orgânicos na natureza tem dado vantagem para os primeiros, permitindo, assim, a enorme expansão da população. Para exercer o controle da natureza, é necessário vencer ou adaptar-se a muitas adversidades, tornar parte dos seres vivos aliados e colocar outra parte sob domínio, além de superar dificuldades climáticas, geográficas e da própria estrutura física do solo. Para que tudo isso seja equacionado e se possa exercer a agricultura, há que se causar uma interferência na natureza, controlando e inibindo parte de seus componentes e criando condições favoráveis ao desenvolvimento privilegiado das espécies desejadas.

O que acontece, então, na agricultura é a combinação de energias concentradas em materiais que interferem no meio ambiente e o perturbam, para que determinadas espécies de plantas captem a energia dispersa da radiação solar e a usem para reações químicas, que armazenam energia em formas concentradas e disponíveis ao homem.

## 2. A Agricultura como Sistema

Na produção agrícola, há uma enorme e diversificada cadeia de interações de materiais, gerando produtos que interagem com outros materiais para geração de novos produtos e assim por diante.

Um sistema agrícola deve possuir estrutura física que permita operações produtivas, composta basicamente de minerais, compostos orgânicos, microorganismos, sementes, água, insetos e radiação solar. Essa estrutura possibilita definição de limites e, dirigido ao seu interior, deve haver um fluxo de materiais que irão interagir entre si e com os componentes do sistema, no sentido da geração de produtos que serão as saídas do sistema.

Neste trabalho, será considerado que, existindo um sistema ecológico dado (ecossistema), a perturbação artificial nesse sistema pelo homem, deprimindo certos subsistemas e favorecendo determinadas populações de plantas, definirá o agroecossistema.

## 3. A análise Energética de Agroecossistemas

No agroecossistema, existe energia entrando em diversas formas. Está na forma da radiação solar que incide sobre a área cultivada, no trabalho realizado por homens, animais ou máquinas e ainda incorporada aos diferentes insumos e materiais que consumiram energia para sua obtenção.

Para que os insumos possam interagir, deverá existir um meio físico. Neste trabalho, é considerado que o solo e demais seres orgânicos são inerentes ao sistema e manterão suas quantidades e qualidades originais inalteradas após o encerramento do ciclo em estudo.

Essa consideração não afeta a qualidade da análise e é feita em função de viabilizar os cálculos da energia que passa pelo sistema.

Na medida em que se processam as interações do sistema, a energia que entrou vai sendo dissipada e acumulada, gerando subprodutos que podem ser utilizados ou não, e gerando o produto objetivado.

As relações físicas dos processos produtivos não têm a energia como sua principal referência, estando antes fortemente determinadas por fatores econômicos, políticos e sociais. A análise energética deve, então, ser compreendida como procedimento que completa um sistema de avaliação. Deve-se levar em conta, ainda, que existe certa dificuldade na determinação de custos energéticos de alguns insumos, bem como ausência de controle sobre variáveis do tipo precipitação, insolação e clima que podem levar a disparidades entre análises realizadas em diferentes locais, tempo e método de sua aplicação.

A análise energética de agroecossistemas capacita, entretanto, não apenas a estimar a energia investida na obtenção de um produto agrícola, mas também a se compreenderem os fluxos de energia que compõem esse sistema, a se identificarem pontos de desperdícios energéticos e componentes que podem ser substituídos por outros que gerem maior eficácia energética, enfim, interferir no sistema no sentido de aprimorá-lo.

## 4. Materiais e Métodos

Para a aplicação de análise energética a diferentes agroecossistemas, é necessário que haja coerência nos passos a serem seguidos e boa qualidade dos dados utilizados.

Percebe-se, na literatura especializada, que as pesquisas que efetivaram análises energéticas o fizeram aplicadas a casos específicos, não generalizando os processos de análise na conformação de metodologias.

A estrutura metodológica aqui exposta foi

desenvolvida por Robert Hart<sup>(1)</sup> e apropriada a um modelo de análise que fez parte de dissertação de mestrado defendida na Universidade Federal de Santa Catarina em 1986<sup>(2)</sup>.

O modelo propõe o estudo dos fluxos de energia nos agroecossistemas através da análise de quadros de entradas, saídas, componentes e interações, usando diagramas qualitativos para representação dos agroecossistemas.

É proposta uma seqüência de passos que são abaixo descritos:

a) *Identificação do sistema a ser analisado*

No nosso exemplo, será analisado um sistema de cultura de milho solteiro (sistema nº 1 - EMPASC). Essa cultura ocupa a maior área plantada em Santa Catarina, e tem o maior volume de produção e maior volume financeiro envolvido.

Os dados técnicos de produção são oriundos de recomendações técnicas feitas por EMPASC/EMATER/ACARESC, órgãos estatais de pesquisa e extensão agropecuária que atendem ao Estado de Santa Catarina. No exemplo, assume-se que essas recomendações técnicas representam condições médias de produção e que, sendo atendidas tais recomendações, obtém-se a produção ali estipulada.

b) *Caracterização inicial*

1) Entradas

São consideradas como entradas a radiação solar, trabalho de homens e animais, combustíveis, maquinaria, fertilizantes e corretivos, edificações, sementes, irrigação e defensivos agrícolas.

2) Saídas

São tomados como saídas do sistema em estudo apenas os produtos agrícolas objetivados. Subprodutos tais como palhas e folhas não são considerados como saídas, visto que os mesmos são incorporados ao solo.

3) Limites do sistema

A unidade dimensional de área é de um hectare (10.000m<sup>2</sup>), estando todos os outros fatores envolvidos também dimensionados para produção por hectare.

O tempo é determinado pelo ciclo natural da produção que vai desde o preparo da terra para o plantio, até a completa maturação do produto e sua colheita.

4) Componentes

São considerados como inerentes ao sistema o solo, o subsistema de culturas e os subsistemas de invasoras, pragas e vetores de doenças.

5) Interações entre subsistemas

Cada sistema tem operações específicas que o caracterizam. No exemplo, são mostradas operações que compõem o sistema Milho nº 1 - EMPASC.

c) *Elaboração de diagrama qualitativo*

São utilizados os símbolos da figura 1 compondo o modelo do diagrama 1. Neste, estão representadas as entradas, saídas, limites e as principais operações e interações entre componentes e insumos dos sistemas em foco.

d) *Validação do modelo qualitativo*

O modelo de cada sistema deve ser confrontado com situação real para sua verificação de validade. No exemplo, são adotadas recomendações técnicas representando condições médias, não sendo realizada tal validação.

e) *Elaboração de um quadro de entradas e saídas*

f) *Elaboração de um diagrama quantitativo*

A cada fluxo é associada sua dimensão física, gerando-se assim o modelo quantitativo.

g) *Conversão dos dados em unidades não energéticas a unidades energéticas*

A unidade de energia aqui adotada é a caloria, por ser a unidade internacionalmente mais aceita. Cada fator de produção será convertido apropriadamente a calorias, segundo taxas que serão objeto de atenção detalhada no próximo capítulo.

h) *Elaboração de um diagrama de fluxos energéticos*

Os dados convertidos a unidades energéticas são combinados no modelo qualitativo, quantificando as energias dos fluxos do sistema.

1. HART, Robert D. et alii. *Análisis energético de sistemas agrícolas*. Costa Rica, Turrialba, CATIE, 1980.

2. MELLO, Renato de. *Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina*. Florianópolis-SC, dissertação de mestrado, PGEF/UFSC, 1986, 138 págs.

i) *Cálculo dos índices energéticos*

São definidos e discutidos a seguir, índices que permitem avaliação da performance do sistema.

j) *Conclusões*

As conclusões partem do exame dos diagramas, quadros de entradas e saídas e dos índices energéticos de cada sistema.

**5. Índices Energéticos**

O índice energético mais encontrado em pesquisas na área é o que trata da razão entre as saídas úteis do sistema, na forma de calorías, e os insumos culturais (todos os insumos, excluindo a energia solar), também na forma de calorías.

Esse índice é denominado "eficiência cultural" e é representado pela seguinte equação:

$$\text{Eficiência Cultural} = \frac{\text{Saídas úteis (calorías)}}{\text{Entradas Culturais (calorías)}}$$

Quando se deseja considerar a radiação solar como insumo, um índice largamente usado é

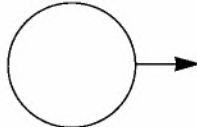
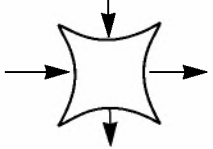
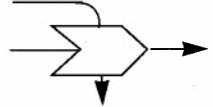
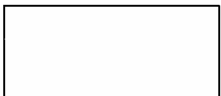

aquele que trata da razão entre as saídas úteis do sistema (em calorías) e a energia total que entra no sistema, incluindo-se aí a radiação solar. Tal índice é denominado "eficiência ecológica" e indica quão eficiente é o sistema na captação da energia solar, sendo representado pela seguinte equação:

$$\text{Eficiência Ecológica} = \frac{\text{Saídas Úteis (calorías)}}{\text{Radiação solar + Entradas Culturais (calorías)}}$$

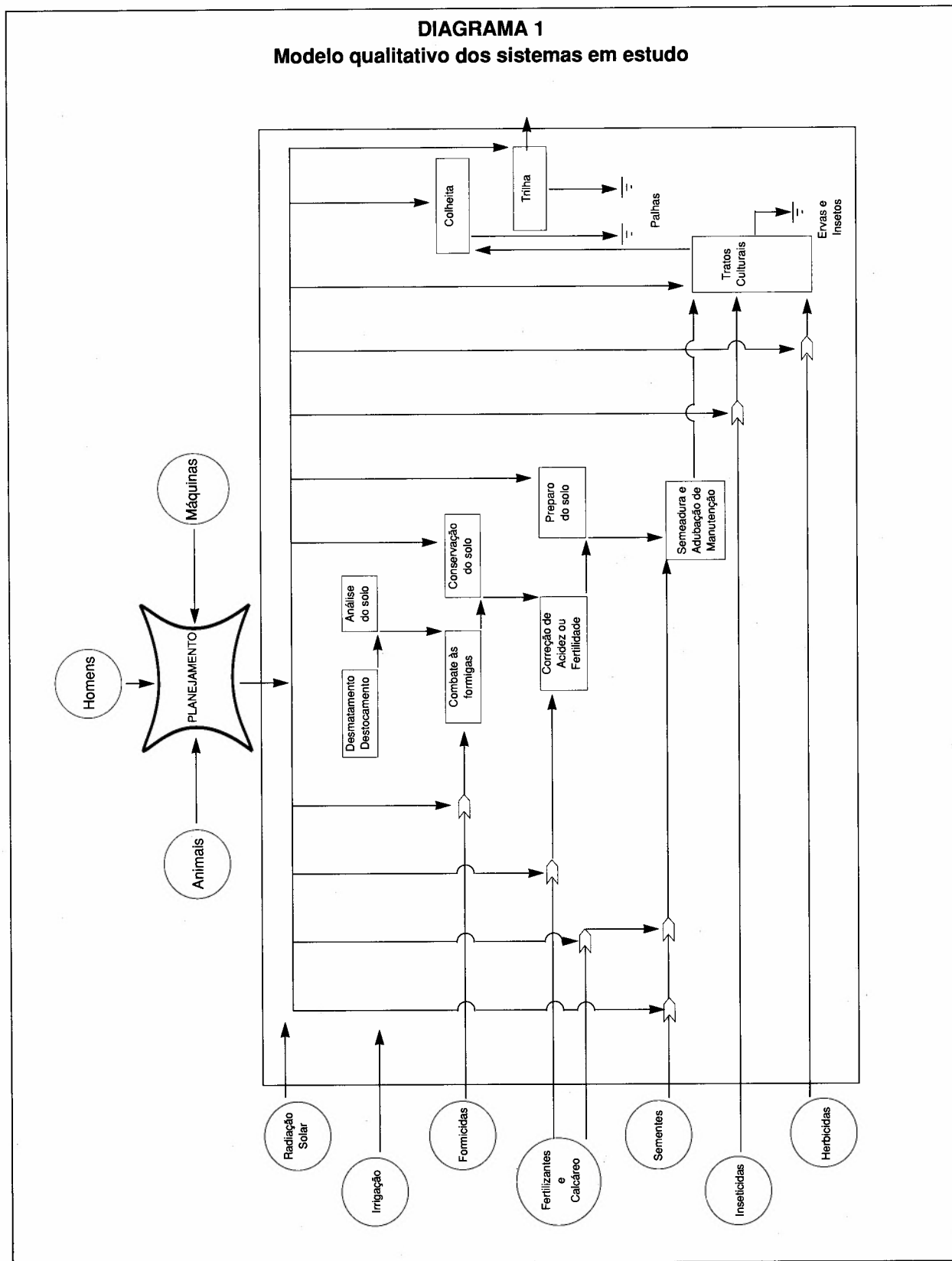
Caso não haja interesse na conversão das saídas úteis do sistema a unidades energéticas, podem ser utilizados dois índices: o primeiro trata da razão entre as quantidades do produto final em quilogramas e a energia cultural que entra no sistema, sendo denominada "produtividade cultural"; o segundo índice resulta da divisão das quantidades do produto (kg) pela energia total que entra no sistema (inclusive a solar), e é denominado "produtividade ecológica". Tais índices são representados pelas seguintes equações:

$$\text{Produtividade Cultural} = \frac{\text{Quantidade do Produto (Kg)}}{\text{Energia Cultural (calorías)}}$$

**FIGURA 1 — Símbolos utilizados na elaboração dos diagramas.**

Símbolos	Significados
	Indica as fontes externas ao sistema
	Representa um planejamento ou chave reguladora de fluxos
	Indica a interação entre fluxos
	Significa um componente da estrutura do sistema
	Indica um sumidouro de calor ou incorporação de materiais à estrutura do sistema.

**DIAGRAMA 1**  
**Modelo qualitativo dos sistemas em estudo**



$$\text{Produtividade Ecológica} = \frac{\text{Quantidade do Produto (Kg)}}{\text{Radiação solar + Energia Cultural (calorias)}}$$

Para diversas culturas, muitas vezes interessa conhecer sua taxa de conversão energética, ou ganho calórico total que o sistema gera. O índice que mede essa relação é a diferença entre a energia útil que sai do sistema e a energia cultural que entra no mesmo. Esse índice é denominado "energia cultural líquida", sendo representado por:

$$\text{Energia Cultural Líquida} = \text{Saídas Úteis (calorias)} - \text{Entradas Culturais (calorias)}$$

Vistos os aspectos teóricos e definidos os materiais e métodos da análise energética de agroecossistemas, são determinados, no próximo capítulo, os custos energéticos que envolvem a obtenção e funcionamento dos insumos que compõem os sistemas agrícolas.

### VALORES ENERGÉTICOS DOS INSUMOS AGRÍCOLAS

Os agroecossistemas combinam uma forma difusa de energia, que é a radiação solar com energias concentradas em insumos. Para que se possam analisar esses fluxos de energia, são contabilizados separadamente, neste capítulo, os custos energéticos de cada insumo relevante na produção agrícola.

Os métodos mais freqüentemente utilizados para levantamento dos custos energéticos de um bem ou serviço são a análise de processo, a análise insumo-produto e a conversão de unidades financeiras a energéticas.

O método mais acurado é o que faz a análise do processo, onde são estimados os custos energéticos de todos os fatores físicos envolvidos na obtenção do bem ou serviço. Isso se dá através da análise detalhada da energia dispendida na obtenção das matérias-primas, da energia dispendida em todos os processos da manufatura de materiais que compõem o produto, do transporte desses materiais, do combustível utilizado, enfim,

de todos os fatores que geram custos energéticos para obtenção desse bem ou serviço.

O método da matriz insumo-produto pres-supõe que o bem ou serviço esteja "discretizado" em um setor específico da matriz energética, ou que o índice de agregação dos setores ou produtos de que faça parte não seja muito grande.

A conversão do custo financeiro do insumo em custo energético é feita quando não se dispõe de dados para os processos anteriores. Tal conversão é obtida dividindo-se o consumo de energia primária do país por seu produto interno bruto (PIB) e multiplicando-se esse quociente pelo custo financeiro do insumo.

Os insumos aqui tratados são: combustíveis, eletricidade, edificações, radiação solar, materiais de propagação, fertilizantes e corretivos, defensivos agrícolas, maquinaria, animais e trabalho humano.

#### 1. Combustíveis e eletricidade

São utilizados na agricultura brasileira basicamente quatro tipos de combustíveis: gasolina, diesel, óleo combustível e álcool, sendo que o último, em escala reduzida e não considerado neste trabalho.

Na contabilização energética dos derivados de petróleo, há um custo calórico para seus processamentos, considerando que para obtenção de um litro de combustível é consumido 1,14 vezes seu poder calorífico. Utilizando dados do Balanço Energético Nacional e do fator de produção acima mencionado, foi elaborada a tabela 1, dos custos energéticos totais dos combustíveis.

Por não serem encontrados dados sobre custos energéticos referentes a represamento de águas, turbinas e equipamentos de geração de eletricidade, redes e manutenção, será considerado o custo referente à termoeletricidade, de 3.015 kcal por kwh.

#### 2. Transporte

Considera-se que os custos energéticos referentes aos transportes dos insumos até a fazenda

**TABELA 1 — Valores energéticos totais dos combustíveis fósseis**

Tipo	Kcal/litro		
	Poder Calorífico	Insumo Produção	Total
gasolina	8.289	1.160	9.449
óleo combustível	9.990	1.399	11.389
óleo diesel	9.086	1.272	10.358

já estão incorporados às contabilizações dos mesmos, sendo os produtos entregues no portão da fazenda.

Os transportes internos do sistema são tomados como realizados por trator ou animal tracionando carreta, com respectivos custos tratados nos itens "Maquinaria" e "Animais".

### 3. Edificações

Os custos energéticos anuais por hectare plantado para edificações rurais são assim calculados:

residência	=	60.988 Kcal
serviços	=	23.176 Kcal
<hr/>		
TOTAL	=	84.164 Kcal/ha/ano

### 4. Radiação Solar

A radiação solar que incide sobre o solo é apenas em parte absorvida pelas plantas, sendo a parcela da radiação que atua como fotossintetizante considerada 0,3948 vezes a incidência total<sup>(3)</sup>.

Os dados são diferenciados para cada região em estudo e são facilmente obtidos em institutos de meteorologia. Como exemplo, mostramos o de Santa Catarina, no quadro 1, que foi usado no sistema Milho nº 1.

### 5. Propagação

Os materiais de propagação de culturas são: sementes, mudas, bulbos, estacas etc., e envolvem, geralmente, uma parcela substancial da energia total investida na produção agrícola.

Os custos energéticos vão desde a produção — que, em boa parte, já visa à obtenção do agente disseminador e que por isso necessita ser de qua-

lidade —, passam pela seleção criteriosa para boa reprodução genética e pelo tratamento químico muitas vezes para não serem atacados por doenças, formigas, insetos etc. Finalmente, os agentes são embalados e distribuídos, envolvendo isso também mais custos energéticos.

A produção, processamento e distribuição dos materiais de propagação podem variar, segundo diferentes autores e diferentes culturas, de 3% até 31% do custo energético total dessas culturas.

Como no desenvolvimento deste trabalho não se encontraram dados que permitissem uma "discretização" e contabilização de todos os fatores que envolvem custos energéticos de materiais de disseminação, optou-se pelo método que avalia os custos energéticos através dos seus custos financeiros.

Para a obtenção do valor energético da moeda, calcula-se a razão entre o consumo de energia primária e o produto interno bruto do país no mesmo ano, bastando então multiplicar o preço do insumo por esse fator para obtenção de seu custo energético.

Para o Brasil, em 1982, temos:

Consumo de energia primária	=	$15.747.372 \times 10^8$ Kcal	
Produto interno bruto	=	$155.280 \times 10^6$ dólares	= 10.141 Kcal/dólar

Multiplica-se esse fator pelo preço do agente propagador, encontrando-se aí o custo energético de sua obtenção.

### 6. Fertilizantes e Corretivos

No processo de produção agrícola, as plantas

3. Índice de Bray utilizado por: FARGAS, J. *Elementos e índices para evoluar agroecossistemas desde el punto de vista energético*. Curso de Ecofisiologia, Costa Rica, Turrialba, CÁTIE, 1979.

**QUADRO 1 — Radiação solar média para o Estado de Santa Catarina em cal/cm<sup>2</sup>/dia, a partir de dados do Atlas Solarimétrico do Estado de Santa Catarina**

janeiro	485,67	julho	253,83
fevereiro	454,00	agosto	292,12
março	383,83	setembro	334,25
abril	325,00	outubro	413,67
maio	264,87	novembro	478,21
junho	255,71	dezembro	499,46



retiram continuamente nutrientes do solo. Quando são colhidos os grãos, frutas, folhas, resinas, caules, torna-se necessária a entrada de uma fonte externa de nutrientes que forneça ao sistema a possibilidade da melhoria ou manutenção da fertilidade do solo, sem a qual este seria exaurido.

São três os principais componentes dos fertilizantes químicos: nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K).

Os fertilizantes nitrogenados têm o gás natural como principal matéria-prima, sendo utilizados em pequena escala os derivados de petróleo e de carvão mineral. Em sua síntese, primeiramente é obtida a amônia, derivando-se desta as outras formas dos compostos nitrogenados. As etapas posteriores usam uma quantidade adicional de energia pequena quando comparadas à síntese da amônia.

Para os fosfatados, a maior parte da energia refere-se à extração e transporte dos minérios de fosfato e enxofre. O ácido sulfúrico oriundo do enxofre reage com a pedra de fosfato dando origem ao ácido fosfórico e ao superfosfato.

O potássio é geralmente utilizado na mesma forma em que foi retirado da natureza, sofrendo, em alguns casos, um processo de enriquecimento ou de separação de outros sais.

Os fertilizantes químicos conseguem dar suprimento balanceado de nutrientes às plantas, principalmente às variedades de alta produtividade que só atingem tais performances em presença de combinações precisas de nutrientes. Porém, ao mesmo tempo em que cresce o uso de fertilizantes químicos e sua importância no aumento de produtividade, aumenta também a significação desse insumo no consumo energético total da agricultura, tornando-se indispensável a busca de aperfeiçoamento de sua aplicação e de alternativas ecológicas de baixo custo energético e ambiental.

A fertilização do solo através da incorporação de restos de culturas, resíduos vegetais, animais e humanos tem custo energético relativamente reduzido (esterqueira, transporte e maquinaria para incorporação ao solo basicamente), gerando resultados satisfatórios em fertilização além de serem integrantes naturais de cadeias de ecossistemas. Mas, a intensidade com que a agricultura é exercida e a dissipação dos produtos agropecuários, na forma de calor, trabalho, lixo etc., não permitem que exista tanto fertilizante orgânico quanto se necessita.

Outro aspecto importante é a recuperação do solo através da calagem que corrige a acidez do mesmo, prática largamente utilizada no Brasil. Apesar de o calcário ter baixa densidade energética, o volume em que é aplicado faz com que o

item tenha peso na contabilidade energética total. Isso pode ser visualizado no quadro 2.

### QUADRO 2 — Energia Dispendida em Fertilizantes e Corretivos Valores Estabelecidos

	6.917 Kcal/Kg — uréia
Uréia (46% N)	14.977 Kcal/Kg — N
P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (100%)	3.384 Kcal/Kg
K <sub>2</sub> O (100%)	2.268 Kcal/Kg
Superfosfato Normal (0-20-0)	2.340 Kcal/Kg
Superfosfato Triplo (0-46-0)	3.040 Kcal/Kg
Muriato de Potássio (0-0-60)	1.718 Kcal/Kg
Calcáreo bruto	400 Kcal/Kg
Cal	2.408 Kcal/Kg
Fertilizantes orgânicos	45,5 Kcal/Kg + 15.628 Kcal

### 7. Defensivos Agrícolas

Quando um ecossistema é alterado no sentido da produção privilegiada de uma ou mais plantas, essa interferência pode privilegiar também outros seres orgânicos do sistema, tais como fungos, insetos e outras plantas.

O privilégio das plantas cultivadas somente será obtido se seus concorrentes sofrerem uma ação de controle que reprima seus crescimentos e propagação. Historicamente, as pragas têm sido um grande fator para insucessos, tanto da agricultura quanto da armazenagem dos produtos obtidos.

Os defensivos são os elementos da produção agrícola de maior densidade energética. Utilizam-se de energia na forma de hidrocarbonetos como base de certos ingredientes pesticidas ativos e de alguns solventes, de eletricidade e calor para síntese e manufatura desses ingredientes, além de que as embalagens, transporte, distribuição e aplicação requerem ainda uma grande quantidade de energia. Entretanto, como usualmente são empregados em pequenas quantidades, não representam grande parcela da energia comercial total empregada na produção agrícola.

Os altos custos financeiros e a preocupação acerca dos efeitos nocivos da aplicação de defensivos químicos sobre a biosfera têm gerado soluções que reduzem essas aplicações, enfatizan-

do-se métodos alternativos de controle de pragas. Pode-se reduzir a aplicação de inseticidas e fungicidas, aprimorando linhagens mais resistentes de cultivares, controles biológicos (como introdução de insetos estereis ou inimigos naturais de um inseto dado, armadilhas para insetos, intercalação de diferentes cultivares), e evitar a monocultura e outros métodos mais. Quanto ao controle das ervas daninhas, este pode ser feito por cultivo mecânico, homens com ferramentas, herbicidas, ou uma combinação dos três processos, sendo que o herbicida é o mais caro em termos de energia.

Segundo David Pimentel, os insumos energéticos para a manufatura de cada ingrediente pesticida ativo variam de 13.810 Kcal/Kg, para o metil parathion, até 109.520 Kcal/Kg, para o paraquat.

Esses insumos variam de acordo com a quantidade de hidrocarbonetos, calor e eletricidade usada no processo de manufatura.

### 8. Animais

A força do trabalho animal é utilizada na forma de transporte de carga ou homens e para tração de implementos agrícolas, sendo que o animal pode ainda gerar subprodutos como leite, carne e crias, com razoável valor econômico.

Diferentemente de sistemas produtivos pecuários e granjeiros onde a ração, instalações e cuidados com os animais são alguns dos fatores mais importantes para o sucesso da empresa, na produção agrícola são normalmente utilizados poucos animais por propriedade, consumindo também poucos insumos e cuidados na manutenção destes quando comparados com os gastos totais do sistema. A ração desses animais pode ainda ser complementada por palhas, restevras de culturas etc., além de pastagens originadas de locais de difícil cultivo, permitindo melhor aproveitamento do solo.

Será adotada a taxa de conversão de 2.400 Kcal por hora de trabalho, que é o valor aproximado aos valores adotados internacionalmente pela maior parte dos pesquisadores consultados.

### 9. Homens

A quantidade de trabalho humano investida diretamente na agricultura vem diminuindo progressivamente desde a introdução do uso de animais de tração, até as modernas fazendas onde o trabalho humano quase se restringe ao controle de máquinas.

Com a maquinaria agrícola substituindo o homem, conseguem-se operações mais rápidas, maiores, esforço concentrado e trabalho em condições insalubres. Entretanto, a utilização de

maquinaria para o trabalho agrícola custa muita energia e o homem ainda é a origem para a força do trabalho em grande parte do Brasil.

O trabalho humano na produção agrícola será contabilizado a uma taxa de 500 Kcal/hora. Esse valor incorpora atividades extralabores sem ser excessivamente abrangente; é equivalente ao trabalho corporal pesado em atividades industriais e aproximado ao consumo energético em alimentos pelo trabalhador.

São considerados todos os trabalhos em que o homem esteja envolvido diretamente, inclusive operações com trilhadeiras animais, tratores etc.

### 10. Maquinaria Agrícola

A introdução do motor a combustão interna representa um grande avanço histórico na agricultura. Com relativo pequeno peso e volume, mas com grande capacidade de realizar trabalho, os tratores e seus implementos capacitam aumentar a produtividade das terras já em uso e ampliar as fronteiras agricultáveis.

A agricultura passa a dispor de energia concentrada dos combustíveis e domesticada através da combustão interna.

Doering<sup>(4)</sup> calcula a energia dispendida em maquinaria (sem os combustíveis) separadamente em três categorias:

1) a energia contida nos materiais que compõem a maquinaria; aço, pneus, fibra de vidro, alumínio etc., calculados com base em valores médios da indústria, valores de referência *standards* ou de uso geral.

Não se considera a reciclagem de materiais, e tratamentos tipo forja e estampagem são considerados como energia de fabricação;

2) a energia utilizada no ponto de manufatura que trata, dá forma aos materiais e fabrica as maquinarias. Os dados foram coletados em uma grande firma de fabricação de equipamentos agrícolas, desenhando-se um envoltório em torno das instalações que fabricaram o item da maquinaria, e contabilizada então a energia dispendida no processo;

3) a energia contida no material e na fabricação dos equipamentos de manutenção que seriam aplicados à maquinaria agrícola em sua vida útil. São calculadas apenas as partes materiais envolvidas.

4. DOERING III, Otto C. "Accounting for energy in farm machinery and buildings". In: PIMENTEL, David. *Handbook of energy utilization in Agriculture*. Flórida, CRC Press, 1980, pp. 9-26.

As energias contidas e de manufatura são então ajustadas à vida útil do equipamento (0,62% da vida total), acrescidas da reposição de partes e finalmente depreciadas linearmente até zero sobre sua vida útil.

Neste trabalho, serão adotadas as taxas de Doering, considerando-se que existe paridade tecnológica em relação a esses equipamentos entre Brasil e EUA, por ser parte dos fabricantes nacionais subsidiária de empresas norte-americanas ou por estes lá comprarem tecnologia.

### UM EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENERGÉTICA DE AGROECOSSISTEMAS

Neste capítulo, será aplicado o instrumental desenvolvido, exemplificando a análise energética de um agroecossistema em uso no Estado de Santa Catarina. Este foi selecionado em função de sua importância na economia da região e por se dispor de dados quantitativos e qualitativos sobre sua produção.

Os dados de base atendem integralmente às recomendações feitas por EMPASC/EMATER/ACARESC.

Caso o produtor siga essas recomendações, obterá seguramente as produções indicadas.

#### 1. Sistema de Produção de Milho

##### a) Caracterização Geral

*"A cultura do milho em Santa Catarina participa com aproximadamente 15% do valor bruto da produção dos principais produtos agropecuários.*

*As regiões mais representativas dessa cultura são as microrregiões homogêneas Colonial Oeste e Colonial do Rio Peixe, que somam 80% da produção colhida.*

*Nessas regiões, predominam os pequenos produtores que plantam milho para utilizá-lo na alimentação das aves e suínos, cultivando-o, em grande parte, em consorciação com soja ou feijão"<sup>(5)</sup>. As recomendações técnicas, EMPASC/EMATER/ACARESC, dos sistemas de produção foram direcionadas para regiões com aptidão para o cultivo de milho.*

#### 2. Sistema de Produção de Milho nº 1

##### a) Identificação do sistema

*"Este sistema se destina aos produtores que utilizam máquinas e equipamentos necessários à execução das práticas culturais, que possuem áreas com até 20% de declive e que justificam o uso racional da motomecanização e da correção da acidez e da fertilidade do solo, de acordo com as recomendações técnicas.*

*O rendimento médio previsto, com a utilização das*

*práticas preconizadas para este sistema, é de 5.000 quilogramas por hectare"<sup>(6)</sup>.*

##### b) Operações que compõem o sistema

As operações que compõem esse sistema são:

###### 1) Desmatamento e destocamento

Prática utilizada apenas para a incorporação de novas terras ao sistema produtivo. Será considerado que o terreno já está desmatado e destocado.

###### 2. Análise do solo

Atividade considerada como não envolvendo custos energéticos.

###### 3. Combate às formigas cortadeiras

Praga número 1 das lavouras, o controle das formigas cortadeiras deve ser feito sistematicamente como operação rotineira do agricultor, através de formicidas.

###### 4) Conservação do solo

São atividades que envolvem principalmente o ordenamento da topografia do solo para conservação do mesmo, visando a evitar a erosão e o carregamento de partículas.

A prática mais indicada é a construção de terraços em nível ou gradiente, com respectivos canais de escoamento.

A interação dessas práticas mecânicas com outras complementares, tais como a redução da movimentação do solo, cultivo de cordões de vegetação permanente, aplicação de cobertura morta e adubação verde torna a conservação do solo mais eficiente.

Nesse sistema, está indicado o uso de trator para práticas de conservação do solo.

###### 5) Correção de acidez ou fertilidade

Consiste no uso de calcário para a correção de acidez e no emprego de esterco de aves ou fertilizantes fosfatados e potássicos para a correção da fertilidade, de acordo com a análise do solo.

A incorporação desses elementos é realizada através de lavrações e gradagens.

###### 6) Preparo do solo

Consiste em uma lavração profunda em nível, seguida de uma ou duas gradagens.

###### 7) Semeadura e adubação de manutenção

É indicado o uso de semeadeira-adubadeira acoplada ao trator.

A adubação de base é realizada na semeadura e a adubação de cobertura é aplicada manual-

5. EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL-SC/ACARESC. *Sistemas de produção para milho* (2a. revisão). Florianópolis-SC, 1983, 56 págs.

6. DOERING III, Otto C. Op. cit.

**TABELA 2 — Coeficientes técnicos e energéticos por hectare do Sistema de Produção de Milho nº 1**

Especificação	Unidade	Quantidade	Kcal Unid.	Kcal Total	Especificação	Unidade	Quantidade	Kcal Unid.	Kcal Total
* Insumos									
Sementes	Kg	18,0	7.613	137.034	Aplic. de adubo de cobertura	h/H	10,0	500	5.000
Superfosfato triplo	Kg	54,0	3.040	164.160	Incorporação de adubo de cobertura	h/eq. Tr.	5,0	1.038	5.190
Calcáreo	Ton	1,0	400.000	400.000	Cultivo mecânico motorizado	h/eq. Tr.	1,0	5.190	5.190
Adubo de base (9-35-12)	Kg	250,0	2.805	701.250	* Colheita e transporte				
Esterco de aves-cama	Ton	3,0	57.128	171.384	Colheita mecânica ou Colheita manual	h/colh. h/H	4 70	187.131 500	748.524 35.000
Adubo de cobertura-uréia	Kg	100,0	6.917	691.170	Trilha	h/trilha	4	5.165	20.660
Herbicidas	Kg	4,0	41.540	166.186	Transporte interno	h/eq. Tr.	2	2.472	4.944
Inseticidas	Kg	1,5	74.245	111.367	* Trabalho				
Formicidas	Kg	1,0	46.270	46.270	Animais	h/A	5	2.400	12.000
* Edificações				84.164	Homens com animais	h/H	5	500	2.500
* Preparo do solo e semeadura					Tratores	h/H	12,5	500	6.250
Manutenção de terraços	h/eq. Tr.	1,0	5.190	5.190	Trilhadeira	h/H	4,0	500	2.000
Aração	h/eq. Tr.	3,0	5.190	15.570	Colheitadeira	h/H	4,0	500	2.000
Gradagem	h/eq. Tr.	1,5	5.190	7.785	Tratores	h/Tr	12,5	49.944	624.300
Aplicação do calcáreo	h/eq. Tr.	0,3	5.994	1.798					
Incorporação do calcáreo	h/eq. Tr.	0,9	5.190	4.671	* Total Kcal com:				
Aplic. do adubo corretivo ou	h/eq. Tr.	0,2	5.994	1.199	- adubo orgânico e	{ colheita manual = 2.747.904 (A) colheita mecânica = 3.463.428 (B)			
Distribuição de esterco	h/eq. Tr.	0,5	3.836	1.918	- adubo químico e		{ colheita manual = 3.277.051 (C) colheita mecânica = 3.992.575 (D)		
Semeadura e adubação	h/eq. Tr.	1,5	6.994	8.991	* Rendimento médio previsto = 5.000 Kg de milho				
*Tratos Culturais					<u>Abreviaturas</u> <u>Significados</u>				
Aplicação de herbicidas	h/eq. Tr.	1,0	2.356	2.356	h/eq. Tr.	Hora de uso de equipamento tracionado por trator			
Aplicação de inseticidas	h/eq. Tr.	1,0	2.356	2.356	h/eq. A	Hora de uso de equipamento tracionado por animal			
Aplicação de formicidas	h/H	5,0	500	2.500	h/H	Hora de trabalho humano			
					h/A	Hora de trabalho animal			
					h/Tr.	Hora de trabalho de trator			
					h/Trilha	Hora de trabalho de trilhadeira			
					h/Colh.	Hora de trabalho de colheitadeira			

mente e incorporada através de equipamento tração por animal.

As cultivares indicadas têm o ciclo aproximado de 150 dias.

8) Tratos culturais

Nesse sistema, é indicado o controle de plantas daninhas através do uso conjugado de herbicidas e cultivador mecânico. É indicado também o uso de inseticidas.

9) Colheita e trilha

Como a demora na colheita do milho não envol-

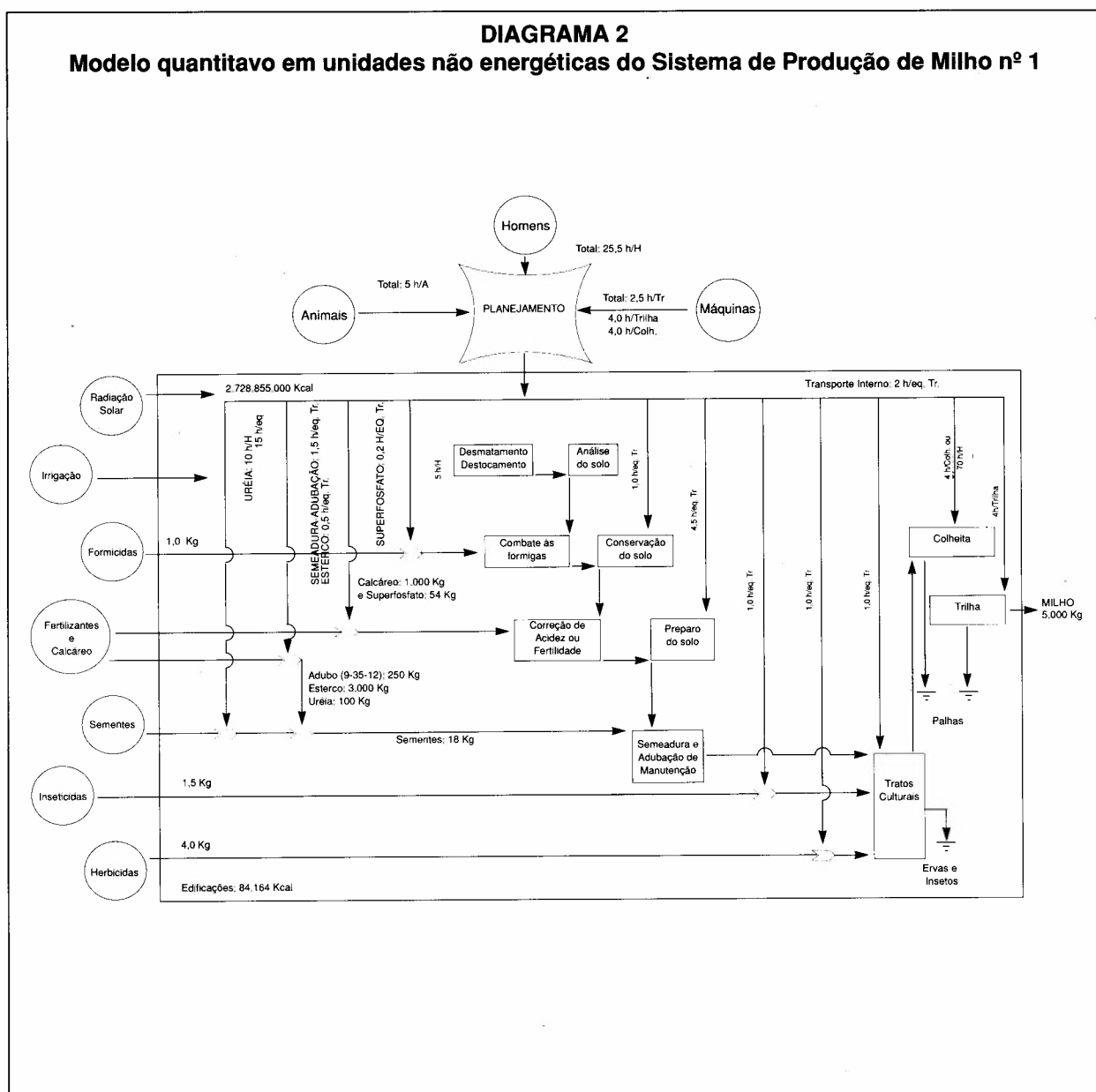
ve geralmente grandes perdas, as indicações são que a colheita pode ser realizada alternativamente por colheitadeira automotriz ou manualmente.

A trilha deve ser realizada por trilhadeira estacionária.

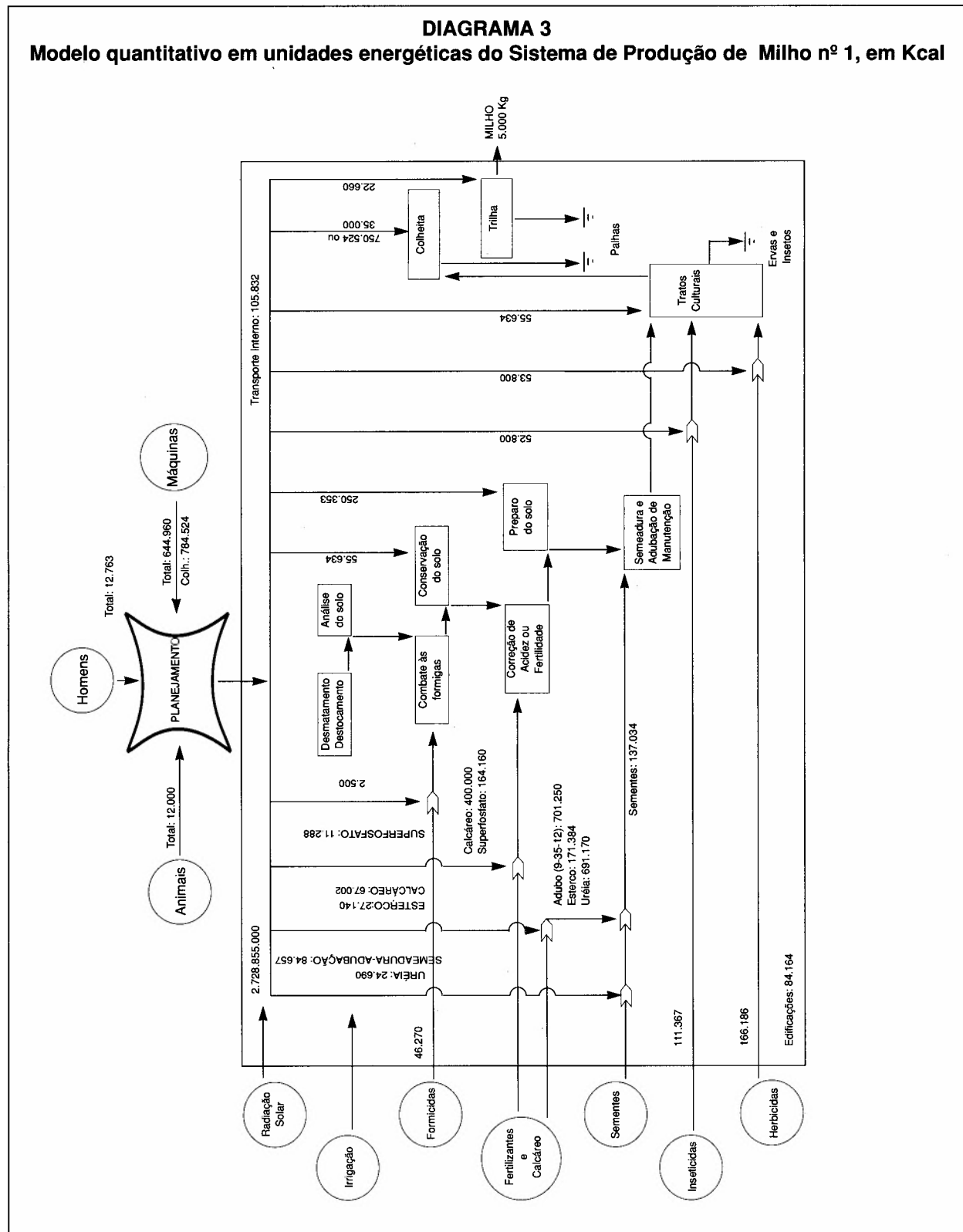
c) Entradas, Conversões Energéticas e Saídas do Sistema

Os coeficientes técnicos do sistema dados em unidades físicas, bem como suas conversões a unidades energéticas e as saídas do sistema, estão relacionados na tabela 2.

d) Diagrama Quantitativo em Unidades não Energéticas (ver diagrama 2).



e) Diagrama Quantitativo em Unidades Energéticas (ver diagrama 3).



## f) Resultados

O sistema em análise prevê o rendimento médio de 5.000/kg de milho (ver tabela 3).

Para a obtenção desse produto, o sistema recebe em média 2.728.855.231 Kcal de radiação solar no intervalo de 150 dias.

As recomendações técnicas para esse sistema indicam o uso alternativo de esterco de aves (cama) ou adubação química para fertilização do solo, e uso de colheitadeira automotriz ou colheita manual, obtendo-se sempre o mesmo produto.

Os custos energéticos culturais dos quatro sistemas são:

**TABELA 3 — Resultados Energéticos do Sistema em Análise, por Fatores de Produção. Os dados estão em Kcal, com exceção dos índices de produtividade e da radiação solar que estão em Mcal.**

Sistemas	Fatores de Produção Kcal		Fertilização								
			Calcáreo		Uréia		Corretivos		Base		Defensivos
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	
A	466.402	16,99	715.860	26,05	175.448	6,38	Esterco	198.524	7,22	431.970	15,72
B	466.402	13,47	715.860	20,67	175.448	5,06	Esterco	198.524	5,73	431.970	12,47
C	466.402	14,23	715.860	21,84	175.448	5,35	Químico	785.907	23,98	431.970	13,18
D	466.402	11,70	715.860	17,93	175.448	4,39	Químico	785.907	19,68	431.970	10,81

	Semeadura		Trabalho				Conservação do solo		Preparo do solo	
			Máquinas		Homens + Animais					
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%
A	221.827	8,07	644.960	23,47	22.750	0,80	55.634	2,02	250.353	9,11
B	221.827	6,40	1.429.354	41,27	24.750	0,70	55.634	1,61	250.353	7,23
C	221.827	6,77	644.924	19,68	22.750	0,69	55.634	1,70	250.353	7,64
D	221.827	5,55	1.429.431	35,80	24.750	0,62	55.634	1,39	250.353	6,27

	Tratos Culturais		Colheita		Produção Kg	Total Kcal Cultural	Produtividade Cultural Kg/Mcal	Produtividade Ecológica Kg/Mcal
	Abs	%	Abs	%				
A	55.634	2,02	35.000	1,27	5.000	2.747.904	1,820	1,830 X 10 <sup>-3</sup>
B	55.634	1,61	750.524	21,67	5.000	3.463.428	1,444	1,830 X 10 <sup>-3</sup>
C	55.634	1,70	35.000	1,07	5.000	3.277.051	1,526	1,830 X 10 <sup>-3</sup>
D	55.634	1,39	750.524	18,60	5.000	3.992.575	1,253	1,830 X 10 <sup>-3</sup>

- a) adubo orgânico e colheita manual: 2.747.904 Kcal;
- b) adubo orgânico e colheitadeira: 3.463.428 Kcal;
- c) adubo químico e colheita manual: 3.277.051 Kcal;
- d) adubo químico e colheitadeira: 3.992.572 Kcal.

Dado o baixo custo energético do adubo orgânico, 7,22% do total no sistema A e 5,73% no sistema B, essa alternativa reduz sensivelmente os custos totais da produção de milho. Entretanto, como foi ressaltado anteriormente, as disponibilidades desse adubo não são suficientes para que todos o utilizem como único fertilizante.

O uso exclusivo de adubos químicos faz com que o custo energético do sistema C seja 1,190 vezes o custo do sistema A, e o custo do sistema D, 1,153 vezes o do sistema B.

A maior parte dos custos dos adubos químicos refere-se aos nitrogenados, situando-se em torno de 23% dos custos energéticos totais.

Notam-se, ainda, os altos custos do calcáreo, que variam de 11,70%, do total no sistema D, a 16,99%, no sistema A.

No aspecto referente à colheita, quando esta é realizada manualmente, seu custo energético é bastante reduzido, correspondendo a 1,27% do total no sistema A e 1,07% no sistema C, sendo que esse item sobe com o uso da colheitadeira para 21,67% no sistema B, e 18,80% no sistema D. O acréscimo gerado pela introdução da colheitadeira faz com que o custo energético total do sistema B seja 1,260 vezes o do sistema A, e o do sistema D, 1,220 vezes o do sistema C.

O item maquinaria salta de 23,47% do custo total no sistema A para 41,27% no sistema B, e de 19,68% no sistema C para 35,80% no sistema D.

A maior diferença nos custos energéticos fica entre o sistema A e D, com o total de 1.244.671 Kcal, devidos à introdução de adubos químicos e colheitadeira.

Outro setor que se sobressai é o de defensivos, que corresponde, respectivamente, em A = 15,72%; B = 12,47%; C = 13,18% e D = 10,81% dos custos energéticos totais.

Os índices de produtividade energética obtidos nos sistemas são:

$$PC_A^* = \frac{5.000 \text{ Kg}}{2.747,904 \text{ Mcal}} = 1,820 \frac{\text{Kg}}{\text{Mcal}}$$

$$PC_B = \frac{5.000 \text{ Kg}}{3.463,428 \text{ Mcal}} = 1,444 \frac{\text{Kg}}{\text{Mcal}}$$

$$PC_C = \frac{5.000 \text{ Kg}}{3.277,051 \text{ Mcal}} = 1,526 \frac{\text{Kg}}{\text{Mcal}}$$

$$PC_D = \frac{5.000 \text{ Kg}}{3.992,575 \text{ Mcal}} = 1,253 \frac{\text{Kg}}{\text{Mcal}}$$

$$PE^{**} = \frac{5.000 \text{ Kg}}{2.728.855,000 + 3.992,575 \text{ Mcal}} = \frac{1,830 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{\text{Mcal}}$$

Os índices de produtividade cultural indicam que, para cada Mcal investida nos sistemas, se obtêm 1,820 Kg de milho no sistema A; 1,444 Kg no sistema B; 1,526 Kg no sistema C e 1,253 no sistema D. A maior diferença é entre o sistema A e D como 0,567 Kg.

Quando se considera a incidência solar, o nível de significância das diferenças entre os totais de energia cultural é muito reduzido, sendo considerado apenas um índice de produtividade ecológica de  $1,830 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{Mcal}}$ .

## CONCLUSÕES

A avaliação da energia investida nos fatores físicos de produção permite realizar o balanço energético dos sistemas, contabilizando suas entradas e saídas e calculando índices de produtividade. Essa é uma abordagem já bastante difundida, porém muito restrita se não estiver acompanhada de uma abordagem qualitativa dos fluxos energéticos, tanto externos ao sistema (geradores dos insumos) quanto internos ao mesmo.

A análise através de um modelo qualitativo permite visualizar os fluxos de materiais e de energia, percebendo-se mais claramente, então, as interações entre esses fluxos, destes com os componentes estruturais e com a radiação solar, até chegar à obtenção dos produtos. A quantificação desses modelos qualitativos gera condição privilegiada à identificação de desperdícios de energia, de componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência energética ou simplesmente eliminados, ou seja, de interferir na estrutura do sistema para torná-lo mais eficiente energeticamente.

A aplicação do modelo permite o planejamento e controle de sistemas produtivos agrícolas, a partir de um referencial que a cada dia chama mais a atenção da população, que são os recursos energéticos escassos e principalmente os não renováveis.

Em relação ao trabalho, nota-se o grande consumo energético e potência disponível dos motores, diferente do pequeno consumo mas,

\* PC = Produtividade Cultural

\*\* PE = Produtividade Ecológica



também, pequena capacidade de trabalho humano e animal.

Em relação aos fluxos materiais, a sua densidade energética varia bastante. Entre os fluxos de baixa densidade energética, destaca-se o calcáreo, que envolve apenas custos de moagem e transporte, gerando um baixo custo energético por quilograma, mas utilizado geralmente em grandes escalas (cerca de 1.000 Kg/ha/ano).

Entre os fatores de maior densidade energética, o destaque maior fica com os defensivos que são utilizados em pequena quantidade mas a grandes custos energéticos, além dos fertilizantes nitrogenados, que têm altos custos energéticos por quilograma e são usados em larga escala.

Outros fatores que são significativos em seus custos energéticos são as sementes, as ferramentas, maquinarias e edificações.

Na estimativa dos valores energéticos de cada material ou trabalho realizado no exemplo, procurou-se apropriar dados que estivessem adequados às condições do Estado de Santa Catarina e, quando necessário, esses dados foram adaptados às condições locais.

Deve-se destacar finalmente que as produtividades obtidas no modelo são relativas apenas ao comportamento energético dos agroecossistemas, pretendendo, assim, ser ferramenta auxiliar a análises sócio-econômicas do manejo de tais sistemas. □

**ABSTRACT:** *This paper presents the theoretical arguments of entropy as a reference to agro-ecosystems analysis, proposes a methodology to this analysis based on the study of the energy flux, and discusses the energetic values of physical factors of agricultural production. Is also shown the example of the model application to a corn production system adopted in the State of Santa Catarina, Brazil.*

**KEY TERMS:** *Entropy, energy in agriculture, agro-ecosystem.*

## BIBLIOGRAFIA

1. BERARDI, G.M. "Organic and conventional wheat production: examination of energy and economics". In: *Agro-Ecosystems*. Amsterdam, Elsevier Pub., vol. 4, 1978, pp.367-376.
2. BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. In: *Balanco Energético Nacional*. Brasília, 1984, 132 págs.
3. CALDWEL, Malcolm. *A riqueza de algumas nações. (The wealth of some nations)*. Tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro, Zahar, 1979, 261 págs.
4. DOERING III, Otto C. "Accounting for energy in farm machinery and buildings". In: PIMENTEL, David. *Handbook of energy utilization in agriculture* Flórida, CRC Press, 1980, pp.9-26.
5. EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL-SC/ACARESC. *Sistemas de produção para milho (2a.revisão)*. Florianópolis-SC, 1983, 56 págs.
6. FLUCK, Richard C. "Energy productivity: a measure of energy utilization in agricultural systems". In: *Agricultural systems*. England, Applied Science Pub., vol.4, no. 1, 1979, pp.29-37.
7. GEORGESCU-ROEGEN, N. *Myths about energy and matter*. Kentucky, USA, Growth and Change, no. 1, jan. 1979.
8. GOMES, Jorge da R. *Dispêndio energético e reposição calórica em algumas funções da indústria automobilística*. São Paulo, tese de doutorado apresentada à Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1978.
9. GOMES DA SILVA, José. *Energicultura - "Energy Farming" Saccharum*. Rio de Janeiro, vol.2, no.6, 1979, pp.18-19.
10. HART, Robert D. et alii. *Análisis energético de sistemas agrícolas*. Costa Rica, Turrialba, CATIE, 1980.
11. HEICHEL, G.H. "Comparative efficiency of energy use in crop production". In: *The Connecticut Agricultural Experiment Station*. New Haven, Bulletin no. 739, 1973, 26 págs.
12. HESLES, J.B.S. & BARROS, E.B.M. *Fluxo energético*. Rio de Janeiro, Monografia PIMEB-COPPE/RJ, 1984, 137 págs.
13. LOCKERETZ, Willian(org.) *Agriculture and energy*. New York, Academic Press Inc., 1977.
14. MAKHIJANI, Arjum. *Energy and Agriculture in the Third World*. Cambridge, Bellinger Pub., 1975, 168 págs.
15. MELLO, Renato de. *Análise energética de agroecossistemas: O caso de Santa Catarina*. Florianópolis-SC, dissertação de mestrado, PGEF/UFSC, 1986, 138 págs.
16. PIMENTEL, David et alii. "Food production and the energy crisis". In: *Science*, vol. 182, nov. 1973, pp.443-449.
17. PIMENTEL, David(org.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Flórida, CRC Press, 1980, 475 págs.
18. RAPPAPORT, Roy A. "The flow of energy in an agricultural society". In: *Scientific American*. USA, vol. 224, no. 3, set. 1971, pp. 116-133.
19. REVELLE, Roger. "Energy use in rural India". In: *Science*. USA, vol. 192, June, 1976, pp. 969-975.
20. ROCKENBACH, Osvaldo et alii. "Balanço energético de um agroecossistema com beterraba açucareira". In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Energia*. Rio de Janeiro, 1984.
21. SAMOHYL, Robert W. "Acumulação de capital e desacumulação do meio ambiente". In: *Economia e Desenvolvimento*, no. 2, fev. 1982, pp.95-127.
22. SERRA, G.E. et alii. *Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas*. São Paulo, Instituto de Física-USP, 1979, p.463.