

Custos Ambientais de Produção da Cana-de-Açúcar e Cenários de Sustentabilidade

Renato de Mello

Resumo:

Este artigo discute a estimativa de custos ambientais e o uso da energia como moeda. Em seguida analisa e avalia um agroecossistema de cana-de-açúcar considerando as implicações ambientais e o uso de recursos naturais como fatores de produção, verificadas desde a formação do canavial até a entrega da cana à usina. Como modelo base foi estudado um grupo empresarial representativo da melhor tecnologia de produção e da maior preocupação ambiental no Brasil. Foram então montados três cenários de custos financeiros e energéticos de sistemas produtivos alternativos. Os cenários foram compostos usando planilhas de custos financeiros e de energia, combinando dados de produção com as implicações ambientais neste agroecossistema. No cenário base o meio ambiente não é considerado como participante da produção. No segundo cenário os impactos ambientais e usos de recursos naturais são estimadas como fatores de produção e implicam em custos. O terceiro cenário simula uma situação onde o agroecossistema é planejado para ser sustentado e são minimizados os danos ambientais. Os resultados indicaram custos energéticos maiores para a internalização dos custos ambientais que para os outros cenários. Indicaram também que é possível a produção financeiramente rentável com ecossistema sustentado, que as diferenças dos valores da energia despendida entre os três ainda é pequena, e que a perspectiva sustentada somente será atrativa a partir da definição social de maiores valores aos aspectos ambientais.

Palavras-chave:

Área temática: CUSTOS AMBIENTAIS

**CUSTOS AMBIENTAIS DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E
CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

Renato de Mello
doutor em ciências da engenharia ambiental
Entropia Engenharia Ltda
Rua 18 de janeiro 159 Lagoa da Conceição Florianópolis SC CEP 88062-140
renatoindio@ig.com.br
engenheiro responsável

Área Temática (12): CUSTOS AMBIENTAIS

CUSTOS AMBIENTAIS DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE

Área temática (12): CUSTOS AMBIENTAIS

RESUMO:

Este artigo discute a estimação de custos ambientais e o uso da energia como moeda. Em seguida analisa e avalia um agroecossistema de cana-de-açúcar considerando as implicações ambientais e o uso de recursos naturais como fatores de produção, verificadas desde a formação do canavial até a entrega da cana à usina. Como modelo base foi estudado um grupo empresarial representativo da melhor tecnologia de produção e da maior preocupação ambiental no Brasil. Foram então montados três cenários de custos financeiros e energéticos de sistemas produtivos alternativos.

Os cenários foram compostos usando planilhas de custos financeiros e de energia, combinando dados de produção com as implicações ambientais neste agroecossistema. No cenário base o meio ambiente não é considerado como participante da produção. No segundo cenário os impactos ambientais e usos de recursos naturais são estimadas como fatores de produção e implicam em custos. O terceiro cenário simula uma situação onde o agroecossistema é planejado para ser sustentado e são minimizados os danos ambientais.

Os resultados indicaram custos energéticos maiores para a internalização dos custos ambientais que para os outros cenários. Indicaram também que é possível a produção financeiramente rentável com ecossistema sustentado, que as diferenças dos valores da energia despendida entre os três ainda é pequena, e que a perspectiva sustentada somente será atrativa a partir da definição social de maiores valores aos aspectos ambientais.

1. A ENGENHARIA ECONÔMICA E OS FLUXOS DE ENERGIA NOS AGROECOSSISTEMAS

O meio ambiente não é apenas uma base onde se assentam processos de produção e consumo. A posse e uso de materiais e recursos ambientais pelo homem é uma das bases da economia, sendo que agora o que se discute é a valoração de estruturas ambientais, que se transformam em recursos, integrando e ampliando a determinação da dimensão econômica destes bens pela sociedade.

O uso de ecossistemas para fins produtivos envolve custos diretos que compõem os preços no mercado dos produtos ali produzidos. Entretanto existem aqueles custos, chamados de externalidades, que são de razão mais de decisões sócio-econômicas, pois serão pagos coletivamente em prazos médios e longos. Hohmeyer (1994) cita para a questão da energia:

"O princípio básico da abordagem econômica com vistas à solução de um problema é que, em última instância, todas as consequências negativas de tecnologias energéticas produzem danos. Quando tais prejuízos atingem pessoas que não podem tirar proveito dos processos que o ocasionaram, estes passam a ser definidos como custos sociais ditos externos. Uma vez que nas economias de mercado a grande maioria de todos os processos econômicos de decisão é regulada pelos preços de mercado, têm-se, no caso da existência de custos sociais elevados, graves distorções, que podem

ocasionar perdas econômicas substanciais. Uma comparação de custos meramente técnico-financeira de dois sistemas energéticos concorrentes com base nos preços de mercado pode fazer com que os investimentos em uma certa tecnologia conduzam a custos menores de energia. No entanto, levando-se em consideração todos os custos que os sistemas causam para a sociedade, esta tecnologia supostamente mais conveniente pode revelar-se a tecnologia de custos mais elevados. Posto que usualmente não seja a sociedade como um todo que decide sobre o emprego dos sistemas energéticos, mas investidores privados, o perigo de manobras equivocadas persiste, pois nem todos os custos sociais se espelham nos preços de mercado".

No mesmo trabalho o autor indica que os principais problemas encontrados são: relacionar os danos com suas causas, os efeitos a longo prazo não previsíveis, e finalmente a quantificação em unidades monetárias dos danos ao ambiente e à saúde humana. Em seguida o autor indica a necessidade de consideração de tais custos nas Análises de Impacto Ambiental como forma de previsão e mitigação dos impactos negativos.

May (1995), referindo-se aos efeitos perversos ambientais do desenvolvimento, aponta que se deveria

" assegurar estes custos indiretos do desenvolvimento fossem identificados e reduzidos e que aqueles que tivessem um declínio em bem estar fossem adequadamente compensados por suas perdas. No entanto, para obter algum sucesso, as negociações globais requerem que as pessoas percebam o mundo como um sistema de valores semelhantes, concordem com a extensão e natureza destas perdas e esteja dispostas a fazer ajustes compensatórios em seus comportamentos ou pagar para amenizar os custos ambientais".

Quando se trata dos custos ambientais inerentes aos processos produtivos é comum a alusão de que a conta deste desenvolvimento deve ser paga por alguém. Certamente alguns processos, tal como a mineração, exigem operações envolvendo o meio ambiente cujos custos são de grande vulto. Entretanto, a ciência e as técnicas estão continuamente oferecendo possibilidades de produzir mais e com melhor qualidade no trato ambiental. As melhorias nos processos produtivos, mesmo os de transformação de energia, podem associar à produtividade a qualidade de processos, de produtos e do ambiente.

Os instrumentos para mensuração das alterações ambientais são de difícil padronização, já existindo uma ampla gama de indicadores e índices que combinados podem fornecer compreensão resumida dos processos. Estes indicadores e índices são representações da realidade e devem ser apropriados a cada situação temporal, e de acordo com a estrutura social, econômica e geográfica do ecossistema.

A valoração do ambiente alguns anos atrás tinha apenas dois valores possíveis, segundo Pillet (1992); Nulo para a economia clássica ou infinito para os ecologistas. Para os últimos os bens e serviços oriundos de recursos naturais com capacidade de regeneração e assimilação frágeis não teriam preço. Este é o desafio, definir preço ao que não tem preço.

Um bem ou serviço terá valor de mercado e preço se houver concorrência por este bem ou serviço em função da escassez absoluta ou relativa das funções exercidas, e se a sociedade assim o definir. A água, por exemplo, pode gerar eletricidade, abastecimento, irrigação, uso industrial, via de transporte, lazer, ou pode cumprir papel ecológico em ecossistemas cujo valor somente transparecerá se a sociedade assim os definir, comparativamente com outros usos desta mesma água.

Teoricamente o valor econômico de ambiente deve conter, além do valor imediato de uso do bem ou serviço, o valor futuro, mesmo opcional, e o valor de não-uso ou

valor intrínseco ambiental. Quando o valor do ambiente fica incompleto, ou um preço é definido incompletamente, ocorre uma superexploração do bem ou função, ocorrendo também a poluição e conseqüente redução do capital natural.

A formação de valores ambientais é tarefa ampla e de difícil definição. Algumas funções de sistemas naturais são atualmente evidentemente subvalorizadas em suas apropriações, refletindo os desajustes sociais e suas representações políticas.

2. AS LEIS DA TERMODINÂMICA E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA

O conhecimento recente sobre materiais, energia e meio ambiente mostra cada vez mais claramente os limites da escassez material e a fragilidade dos ecossistemas do planeta. A mesma ciência que pôs abaixo o mito da infinitude dos recursos naturais, nega também agora outro mito: o de ser a panacéia inventora de recursos quando escasseiam aqueles que a tecnologia do momento usa.

O primeiro princípio termodinâmico, a lei da conservação de energia, indica que a quantidade de energia em um sistema fechado é constante, e esta quantidade de energia só pode se alterar pela adição ou subtração de energia ao mesmo sistema.

Num ecossistema temos uma dada energia disposta em materiais e em potenciais, e uma suave chuva energética vinda do sol alimentando continuamente o sistema. A energia dos materiais ou funções torna-se recurso na sua obtenção e transformação (de biomassa a calor, p. ex.¹), pela capacidade de movimentação e estocagem², pela facilidade de uso e pela adequação ambiental de resíduos e rejeitos.

Quem rege a passagem ou mudança de forma de energia é o segundo princípio termodinâmico. Quando a energia que está armazenada em um determinado nível, ou concentrada em materiais, sofre transformação passando a maior grau de dispersão ou a nível mais baixo, esta energia tem sua quantidade inalterada dentro do sistema, mas agora tem menor capacidade de realizar trabalho. É a entropia do sistema que aumentou.

Uma exceção entre os processos produtivos que caminha contrário à elevação entrópica, pela contínua entrada de energia, é a da fotossíntese, que recebendo a radiação solar realiza a concentração e organização de elementos inorgânicos em novas formas orgânicas, estas com maior capacidade de realizar trabalho e com funções interessantes ao suporte da vida nos ecossistemas. Segundo Phillipson (1977), "*Vegetais verdes são os principais responsáveis pela fabricação de materiais de alta qualidade energética, necessários para a manutenção da vida*"

A transformação de ecossistemas em agroecossistemas é feita entretanto com uso intensivo de energia. Todo o sistema de plantas superiores do ecossistema precisa ser controlado ou mesmo eliminado, para restringir a competição com a planta objetivada. Além disto, toda a biota original e invasora também deve ser controlada, sendo a variedade plantada objeto ainda de cuidados com sua alimentação, irrigação, corte e replantio.

Na busca por materiais com alta concentração energética e de fácil manejo, o país optou por investir na biomassa, acreditando poder retirar mais do ecossistema que a energia ali investida.

3. AS RAZÕES DE VALORAR FUNÇÕES AMBIENTAIS COMO FATORES DE PRODUÇÃO. A ENERGIA COMO MOEDA

A primeira da termodinâmica estabelece que não existe geração de energia. O valor da energia para a humanidade reside principalmente no seu controle. No manejo

¹ Um exemplo é a energia das águas termais do subsolo em temperaturas que não permitem mudança de estado, incapazes de gerar energia comercial, não tendo portanto atualmente valor energético.

² Esta é a principal limitação da eletricidade.

da captação da energia, de sua transformação em formas utilizáveis, na concentração e estocagem, no transporte, na racionalização do uso desta energia e no sua disposição no ambiente. Para cada uma destas fases são definidas historicamente políticas de gerenciamento, baseadas em decisões sociais de uso dos recursos energéticos. A escassez ou abundância de energia disponibilizadas aos grupos sociais, determinadas pelo controle de recursos naturais, é um dos fundamentos do sucesso ou fracasso de governos e povos e uma dos fatores determinantes nos processos de evolução civilizatória.

A dimensão e distribuição geográfica das reservas mundiais de minérios para fins energéticos é razoavelmente conhecida, bem como a distribuição social do consumo destes materiais. Os ricos consomem muito e os pobres pouco, independentemente do país analisado. Para as atuais taxas de consumo o restante recuperável de petróleo disponível no mundo durará apenas cerca de 100 anos, segundo Goldenberg (1988), e o tempo despendido naturalmente para concentração de energia em materiais como o petróleo é da ordem de milhões de anos.

Foi nas décadas de 70 e 80 que mais apareceram estudos de previsão de finitude dos recursos energéticos, com destaque para Georgescu-Roegen (1972) que, além de analisar a disponibilidade dos recursos energéticos e a entropia dos sistemas, deu importante contribuição para a compreensão sobre os mecanismos de preços reguladores, novas tecnologias salvadoras, a entropia negativa e a geração de energia, que são os mitos dos anos 70.

As previsões catastróficas estão atualmente sem destaque, em especial depois de se constatar que a escassez de energia pode ser um forte estimulador para novas formas mais suaves do consumo. O aumento de preços aliado a uma nova cultura de relações sociais com o ambiente e com o consumo de bens determinam posturas mais racionais de energia³. O abrandamento das preocupações sociais vai ocorrendo num período de preços de petróleo estáveis e em patamares baixos, mas a qualquer turbulência nos preços a apreensão recrudescer.

O processo de formação da riqueza é um movimento social e concretizado em grande parte pela posse de energia, recursos naturais e ecossistemas, transformando em ativos e degradando uma estrutura orgânica realizada em milênios pelo ambiente.

Quando há um processo de produção e consumo de bens há necessariamente energia movendo este sistema e uma determinada eficiência associada a este processo. Segundo Commoner (1977) ,

"From Second Law efficiencies it appears that about 85 percent of the work available in the energy presently consumed is not applied to the work-requiring tasks of production system - it is wasted".

A distribuição do consumo de energia no Brasil é o reflexo da própria distribuição desigual da renda. Benefícios privatizados e gastos de geração, distribuição e descarte no ambiente custeados pelo dinheiro público.

As fases de uso e de disposição da energia utilizada no ambiente, em forma entrópica de menor capacidade de realizar trabalho, são aquelas que atualmente recebem grande atenção pública no que se refere aos custos ambientais. As referências científicas e nos meios de comunicação quanto à utilização do álcool carburante e seus efeitos ambientais se reportam quase que unicamente à redução de poluição do ar no seu uso comparado com hidrocarbonetos. Entretanto, para a geração deste álcool foi gasta uma

³ O País de 1980 a 1993 passou a despende 2,431 vezes menos energia para produzir a mesma quantidade de produtos.

⁴ O PROÁLCOOL nasceu em 1975, e na época dos estudos referidos ainda se iniciava a efetiva implantação do programa.

certa quantidade de energia já concentrada em insumos e certa degradação ambiental, que tem também seu equivalente energético.

O Brasil montou um gigantesco programa de produção de biomassa a partir de cana-de-açúcar, biomassa que após ser transformada em álcool se destina à combustão em veículos leves. A função de transportar pessoas em veículos leves transformou a produção agroindustrial nas regiões de maior produtividade agrícola do país. São continuamente despendidas fabulosas quantias de capital público a título de subsídios para incentivo de desenvolvimento do setor de produção de álcool, e contudo o país ainda não tem política ambiental definida para o setor.

Quando da implantação do PROÁLCOOL havia a idéia que estávamos obtendo mais energia do ambiente do que aquela que despende produzindo o álcool. Não foi encontrada nenhuma referência às contribuições que o meio ambiente faz, como capital, para que o álcool possa ser produzido.

Entre 1978 e 1979 ⁴ um renomado grupo de pesquisadores apresentou resultados de pesquisas pioneiras que indicavam um ganho energético acentuado na produção de álcool etílico a partir da cana-de-açúcar. Estes trabalhos tiveram repercussão acadêmica internacional e foram publicados na revista *Science* (Goldenberg, 1978). Os resultados indicavam ganhos calóricos da ordem de 4,53 calorias para cada caloria investida. Em reavaliação posterior o PLANALSUCAR (1981) indicava ganho de 4,84 caloria por caloria investida, com previsão deste fator passar a 10,9 no futuro. Estes dados iniciais tiveram muita importância na definição do programa. Tais trabalhos avaliavam na época o ganho energético de um ambicioso programa que, segundo seus princípios enunciados, visava tirar o país da dependência do petróleo importado, redistribuir renda e diminuir desigualdades regionais.

Quanto realmente está custando a geração da energia do álcool a partir da cana? A busca de todos os fatores ambientais envolvidos na produção de bens e funções da produção da cana é uma tarefa hercúlea que vai se desvendando à medida que são oferecidos novos dados da ciência dos ecossistemas.

A determinação de valores de componentes ambientais esbarra também na definição da posse e apropriação dos recursos naturais. Maxwell (1989) as chama de armadilhas sociais:

"Social traps abound in the environmental policy area because of the abundance of imperfectly owned and common property resources. To run these traps into trade-offs, we must calculate the long term social cost of activities with environmental impacts and change those costs to the responsible parties in the short run".

4. O PROGRAMA BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL A PARTIR DO MEIO AMBIENTE

A sociedade hoje anseia por estudos de valoração de aspectos econômicos difíceis de determinação, tais como a qualidade de processos e produtos, a significância social e a relação que o sistema tem com seu meio ambiente - principalmente para os sistema de produção de insumos energéticos.

As tentativas de tratar separadamente a questão ambiental, a escassez energética e a ordem sócio-econômica geram análises frágeis e incompletas, mostrando que são faces da mesma moeda.

⁴ O PROÁLCOOL nasceu em 1975, e na época dos estudos referidos ainda se iniciava a efetiva implantação do programa.

O megaprojeto brasileiro PROÁLCOOL nasceu, cresceu e vigora ainda sem conhecimento profundo das relações ambientais que a produção de cana tem com os ecossistemas regionais. A informação sobre o projeto é volumosa, mas ainda podem ser feitas contribuições sobre o funcionamento físico, ambiental e econômico dos agroecossistemas produtores de cana, considerando agora as externalidades ambientais que certamente teremos que pagar e que já estamos todos pagando em alguns casos.

No início da implantação do PROÁLCOOL a referência ao meio ambiente se dava quase que unicamente em relação ao vinhoto, e posteriormente em relação à queima da cana e à combustão do álcool. Entre as preocupações ambientais buscava-se verificar os níveis de suporte dos rios e do solo⁵ ao lançamento de vinhaça.

Nos primeiros estudos de viabilidade e do início da implantação do PROÁLCOOL, o meio ambiente não foi sequer tratado entre os temas secundários. Nos vários relatórios e documentos produzidos pelo poder público sobre o PROÁLCOOL, até a década de 80, não foi encontrada referência às implicações ambientais da produção de cana. Vale lembrar que não só o lançamento da vinhaça nos rios e lagoas não ocorre mais como atualmente a vinhaça é concentrada e vendida para fertirrigação. Outro relatório que foi marco referencial⁶ para o programa, coordenado por Szmrecsányi (1987), não menciona a sustentabilidade ambiental do programa, sendo que em nenhuma linha é mencionado o meio ambiente envolvido.

Entre os defensores mais evidentes e enfáticos do PROÁLCOOL, o meio ambiente é visto como beneficiário do programa. Ressalta-se a superação dos problemas da vinhaça e as benesses da combustão mais limpa do álcool em relação à gasolina. O físico Rogério de Cerqueira Leite, ao escrever sobre o programa, chega a gerar novas leis da Física quando diz que

" toda atividade econômica baseada em produção agrícola pode ser , em princípio pelo menos, inerte quanto a sua atuação sobre o meio ambiente. Toda e qualquer aplicação de biomassa energética constitui um ciclo fechado, auto-suficiente pelo menos quanto às substâncias químicas participantes. A biomassa tem, pois, potencialmente uma grande vantagem do ponto de vista ecológico em relação a combustíveis fósseis não-renováveis, pois a utilização da biomassa energética deixa o meio ambiente no mesmo estado em que estava quando a operação se iniciou" (Leite, 1990).

O autor definiu estados de meio ambiente que permanecem inalterados após a agricultura.

5. A PESQUISA DOS CUSTOS AMBIENTAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Este artigo apresenta também os resultados de pesquisa que definiu valores dos elementos que participam do agroecossistema de produção de cana-de-açúcar, e avaliou cenários alternativos em um sistema moderno da região noroeste do estado de São

⁵ Dois exemplos destes estudos são de Casarini (1989) e Cruz (1991) .

⁶O governo estadual de São Paulo através do Conselho Estadual da Energia estabelece as diretrizes relativas à produção, distribuição e uso de energia no Estado de São Paulo e por delegação do Governo Federal dá parecer técnico sobre a validade e conveniência da instalação, ampliação e transformação de destilarias em território paulista. Para dar suporte ao Conselho foi montada uma equipe multidisciplinar composta por expoentes conhecedores da questão energia-agroindústria canavieira, que gerou o tal relatório.

Paulo. A avaliação percorreu desde a contabilização dos fatores de produção comerciais até as considerações das externalidades ambientais.

Para a consecução deste objetivo foram definidos valores para os bens e funções componentes do processo produtivo da cana e avaliados os dispêndios de energia dos sistemas de produção em três cenários; o comercial, com os dispêndios de energia das planilhas de custos da empresa, o cenário das considerações dos dispêndios energéticos ambientais chamados de externalidades, e o cenário da produção sustentada onde pouco se desacumula do ambiente.

Com esta pesquisa pretende-se fornecer mecanismos auxiliares de valorações para as análises de processos que envolvam impactos e alterações ambientais.

Uma contribuição que este trabalho pretende gerar é capacitar os produtores de cana e órgãos governamentais a realizar análises energéticas de processos, envolvendo também os processos orgânicos e o ambiente, e a identificar perdas de energia e os locais onde são possíveis melhorias, auxiliando na definição destas melhorias.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Como objeto do estudo foi escolhida uma empresa de produção de cana no noroeste do estado de São Paulo. Ela pertence a uma *holding*, e opera em conjunto com empresas irmãs na área de moagem, fabricação de açúcar e álcool e na produção de equipamentos para a agricultura e usinas de açúcar e álcool. Procurou-se escolher um sistema produtivo e uma situação real que pudessem ser considerados dos mais modernos do ponto de vista tecnológico, de melhor rendimento financeiro e em melhores condições ambientais. Segundo a própria empresa escolhida, esta tem como estratégia o tratamento da questão ambiental como forma de obtenção de vantagens competitivas.

Os dados quantitativos dos fatores de produção de cana foram obtidos diretamente na empresa em estudo. Os dados de valorações de fatores de produção em termos energéticos foram avaliados segundo estimativas de fontes secundárias e segundo adequações apropriadas às condições locais que são detalhadas ao longo deste trabalho. Os custos financeiros e sua relação com valores energéticos foram apropriados também às condições locais e temporais a partir de dados secundários.

7. COMO AVALIAR AS QUANTIDADES DE ENERGIA PARA PRODUZIR OS FATORES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

O meio mais acurado de medir as quantidades de energia comercial envolvidas na obtenção de fator de produção agrícola é percorrer todos os elementos constituintes da cadeia de produção do bem, avaliando as energias despendidas ou embutidas nos materiais. Esta é a chamada "análise de processo" e será tão mais realista quanto mais detalhada e minuciosa a averiguação dos processos e seus dispêndios energéticos. Esta análise está sendo empregada nos setores industriais como forma de auditoria energética e como ferramenta para ganhos de produtividade e qualidade.

Quando dispomos de valores financeiros de custos dos insumos e trabalho, estes dados podem ter sua correspondência em energia. O país consome energia primária em certa quantidade para produzir certa quantidade de riqueza, o PIB. Nesta correspondência estão variáveis como condições tecnológicas do país, ritmo de crescimento econômico, investimentos e endividamentos do país, relações de câmbio e muitos outros condicionantes. A quantidade de energia para produzir riqueza é um indicador razoavelmente estável a médio prazo.

Os insumos que foram avaliados são: maquinaria e equipamentos, fertilizantes, agrotóxicos e defensivos agrícolas. Os subsistemas ambientais que tiveram seus custos avaliados são: queima da cana, água, solos, biota, espaço e paisagem.

O sistema produtivo foi representado por meio de planilhas, com cada operação analisada e avaliada em custos energéticos e monetários. Os grupos de operações foram: preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita. Os grupos de insumos analisados foram: mecanização, transporte, insumos industriais e mão-de-obra. O preparo do solo e plantio é realizado ciclicamente, dependendo da produtividade da soqueira. A colheita é feita alternativamente por corte manual ou por máquinas, queimada ou crua.

Posteriormente foram organizadas as informações destes custos energéticos diretos e indiretos (pela ação ambiental) em cenários onde são representadas situações de hipotéticos incrementos de fatores de produção e redução de outros.

Foram montados três cenários: Comercial, Custos ampliados com a internalização ambiental e Ambientalmente sustentado.

O cenário comercial é aquele baseado em custos operacionais da empresa. A seguir são demonstradas exemplos de planilhas resultantes da apropriação dos custos energéticos para produção e colheita da cana:

Tabela 1. Custos e energia para **formação** de canaviais, por hectare. **Mecanização**. Dados de energia em Mcal.

| Operação | Equipamento | Rendimento | Custo US\$ | Energia equip. | Energia comb. |
|---------------------|---------------------|------------|------------|----------------|---------------|
| | | total | 177,99 | 295,97 | 954,51 |
| Preparo do solo | | subtotal | 124,64 | 207,53 | 600,34 |
| enleira de restevas | trator+ancinho rot. | 0,8 h. | 5,00 | 8,29 | 43,32 |
| carreg. De calcário | escavo carregador | 0,01 h. | 0,26 | 0,43 | 0,54 |
| grad. Pesadas | trator+grade 20X36 | 1,26 h. | 34,43 | 57,08 | 170,57 |
| subsolação | trator+hastes subs. | 1,25 h. | 34,43 | 57,08 | 170,57 |
| grad. Leves | trator+grade 40X28 | 1,0 h. | 27,55 | 45,68 | 135,37 |
| terraceamento | motoniveladora | 1,25 h. | 22,97 | 38,97 | 79,97 |
| Plantio | | subtotal | 32,44 | 53,78 | 191,96 |
| sulcação e adub. | sulcador adubador | 1,25 h. | 18,11 | 30,03 | 73,33 |
| fechamento - sulco | cobridor | 1,00 h. | 6,25 | 10,36 | 58,66 |
| carreg. De mudas | carregadeira | 0,75 h. | 6,02 | 9,98 | 40,61 |
| marcação de sulco | marcador | 0,33 h. | 2,06 | 3,41 | 19,36 |
| Tratos culturais | | subtotal | 20,91 | 34,66 | 162,21 |
| abert. Carreadores | motoniveladora | 0,3 h. | 5,51 | 9,13 | 16,24 |
| aplic. Herbicidas | trator+pulverizador | 1,0 h. | 6,25 | 10,36 | 58,66 |
| cultivo mecânico | trator+cult.+adub. | 1,25 h. | 7,81 | 12,95 | 73,33 |
| canal de irrig. | trator | 0,1 h. | 0,44 | 0,73 | 5,86 |
| irrigação | motobomba | 0,3 h. | 0,90 | 1,49 | 8,12 |

Tabela 2. Custos e energia para tratos culturais de soqueiras, por hectare. Insumos.

| Operação | Formulação ou produto | Rendimento | Custo US\$ | Energia Mcal |
|-----------|-----------------------|-------------|------------|--------------|
| total | | | 187,99 | 2.412,94 |
| Adubo | 18-00-36 | 0,50 ton | 147,25 | 1.890,00 |
| Herbicida | Karmex 500 | 3,20 litros | 23,55 | 265,89 |
| Herbicida | 2,4 D | 3,0 litros | 17,02 | 251,70 |
| Formicida | Atamex | 0,25 kg | 0,17 | 5,35 |

Tabela 3. Custos e energia para **tratos culturais** de soqueiras, por hectare. **Mão-de-obra**.

| Operação | Rendimento diárias | Custo US\$ | Energia Mcal |
|-------------------------------|--------------------|------------|--------------|
| total | | 34,18 | 57,69 |
| queima de palhas | 0,02 | 0,13 | 0,29 |
| reforma e confecção de esgoto | 0,03 | 0,19 | 0,32 |
| combate às formigas | 0,04 | 0,26 | 0,44 |
| carpa manual | 2,50 | 19,48 | 32,82 |
| carpa cabeceira dos talhões | 0,65 | 5,06 | 8,53 |
| fiscal de carpa e rodeamento | 0,08 | 1,61 | 2,71 |
| arranque de colômbio | 1,15 | 7,47 | 12,58 |

Tabela 4. Custos médios por tonelada de cana e por hectare para a **colheita mecanizada de cana crua** (1991/92).

| | US\$/ton | US\$/ha |
|--------------------------------------|----------|---------|
| tração | 0,3391 | 30,86 |
| entregadores | 0,0396 | 3,6 |
| combustíveis | 0,1930 | 17,56 |
| depreciação e remuneração de capital | 0,9696 | 88,23 |
| peças de reposição | 0,0081 | 0,74 |
| mão-de-obra / oficina de apoio | 0,0012 | 0,11 |
| operadores | 0,5692 | 51,80 |
| veículos de apoio | 0,0958 | 8,72 |
| transporte até usina | 3,2573 | 296,41 |
| total = | 5,4729 | 498,03 |

Tabela 5. Custos e dispêndios energéticos de produção por hectare.

| | Formação | 4X cortes | Média 5 cortes |
|------|----------|-----------|----------------|
| US\$ | 781,51 | 254,38 | 359,80 |
| Mcal | 3.925,81 | 2.751,29 | 2.986,19 |

Tabela 6. Custos e dispêndios energéticos totais por hectare.

| Mcal | Manual queimada | Mecânica queimada | Mecânica crua | Manual crua |
|----------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|
| Colheita | 1.738,53 | 1.557,23 | 1.978,47 | 2.109,32 |
| Produção | 2.986,19 | 2.986,19 | 2.986,19 | 2.986,19 |
| Total | 4.724,72 | 4.543,42 | 4.964,66 | 5.095,51 |

O cenário dos custos ambientais estima os dispêndios de energia considerando a energia comercial avaliada no cenário anterior, somados agora com a energia que tinha sido desconsiderada como fator de produção e lançada como custo futuro à sociedade, ou como custos presentes aos que aceitam sem reclamar. A seguir são mostrados exemplos de planilhas geradas para este cenário:

Tabela 7. Custos estimados de energia comercial com **externalidades** na **formação do canavial**

| Mcal/ha | Preparação do solo | Plantio | Tratos culturais | Externalidades | Subtotais |
|-------------|--------------------|----------|------------------|----------------|-----------|
| Mecanização | 807,87 | 245,74 | 196,87 | 111,19 | 1361,67 |
| Transporte | 43,06 | 188,83 | 9,57 | | 241,46 |
| Insumos | 132,82 | 1.400,45 | 629,69 | 112,17 | 2.275,13 |
| Mão-de-obra | 9,72 | 205,98 | 55,21 | | 270,91 |
| Água | | | | 8,12 | 8,12 |
| Subtotais | 993,47 | 2.041,00 | 891,34 | 231,48 | 4.157,29 |

Tabela 8. Custos de energia comercial com **externalidades** nos **tratos culturais** das soqueiras.

| Mcal/ha | Mecanização | Transporte | Insumos | Mão-de-obra | Água | Total |
|----------------|-------------|------------|---------|-------------|------|---------|
| Energia direta | 276,00 | 4,66 | 2412,94 | 57,69 | | 2751,29 |
| Externalidades | 89,66 | | 111,31 | | 8,12 | 209,09 |

| | | | | | | |
|-------|--------|------|---------|-------|------|---------|
| Total | 365,66 | 4,66 | 2524,25 | 57,69 | 8,12 | 2960,38 |
|-------|--------|------|---------|-------|------|---------|

Tabela 9. Custos energéticos totais com **externalidades** na **colheita** da cana crua.

| Mcal/ha | Mecânica | Manual crua |
|----------|----------|-------------|
| Colheita | 1.978,47 | 2.109,32 |
| Produção | 3.199,76 | 3.199,76 |
| Total | 5.178,23 | 5.309,08 |

Tabela 10. Incremento energético devido às **externalidades** na **produção** da cana.

| | Energia direta + Externalidades | Somente externalidades | Proporção incremental |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Colheita mecânica | 5.178,23 | 213,49 | 4,12% |
| Colheita manual | 5.309,08 | 213,49 | 4,02% |

O cenário da produção ambientalmente sustentada gera dados de simulação de uma situação em que as perdas ambientais estejam minimizadas. Este cenário visualiza as condições ideais mínimas nas quais os rendimentos financeiros são atrativos ao capital e ao mesmo tempo as perdas ambientais são suportáveis pelo ecossistema. Para cada um destes cenários as planilhas são refeitas, com nova apropriação de custos e com novos elementos em consideração, tais como a eutrofização da água e o manejo da biota. Entre as mudanças neste cenário, está preconizada a prática do plantio direto como forma de redução de poluição da água e melhor estruturação do solo, o arranquio do colônio, a redução da aplicação de pesticidas e o fim da queima da cana para colheita. Para cada modificação no sistema operacional, ou no uso de insumos, foram calculados novos custos energéticos. A seguir são apresentados resultados das planilhas deste cenário:

Tabela 11. Custos energéticos para cenário sustentado, por hectare.

| Mcal/ha | Mecânica | Manual crua |
|----------|----------|-------------|
| Colheita | 1.927,03 | 2.054,47 |
| Produção | 2.681,80 | 2.681,80 |
| Total | 4.608,83 | 4.736,27 |

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos três cenários em Mcal são:

Tabela 12. Planilha resumida - Energia despendida por hectare - Mcal.

| | | Colheita | Produção | Total |
|-----------|-------------------|----------|----------|----------|
| Comercial | manual-queimada | 1.738,53 | 2.986,19 | 4.724,72 |
| | mecânica-queimada | 1.557,23 | 2.986,19 | 4.543,42 |

| | | | | |
|----------------|----------------|----------|----------|----------|
| | mecânica -crua | 1.978,47 | 2.986,19 | 4.964,66 |
| | manual-crua | 2.109,32 | 2.986,19 | 5.095,51 |
| Externalidades | mecânica-crua | 1.978,47 | 3.199,76 | 5.178,23 |
| | manual-crua | 2.109,32 | 3.199,76 | 5.309,08 |
| Sustentado | mecânica-crua | 1.927,03 | 2.681,80 | 4.608,83 |
| | manual-crua | 2.054,47 | 2.681,80 | 4.736,27 |

Os dispêndios energéticos nas situações em que os danos ambientais fossem pagos, ou reprimidos, indicam valores superiores àqueles dos agroecossistemas sustentados e obviamente da situação primária dos custos comerciais. Pagar pelo conserto dos danos não é uma boa política mas, resguardadas as liberdades de manejo dos ecossistemas para agricultura sem que se prejudique essencialmente o ambiente, o pagamento por este uso ambiental pode ser uma opção social.

A segunda constatação é que os valores obtidos nos cenários são próximos, mais pela atribuição contingente de valores reduzidos aos aspectos ambientais e fatores de produção, mas já indicando a existência destes custos. Esta seria a plataforma mínima para estimação destes valores e dos custos totais.

Consertar o meio ambiente custa mais caro que fazer um manejo sustentado em termos energéticos, mas enquanto o meio ambiente não for valorado como bem social, continuará uma apropriação desigual destes valores e degradação de recursos ambientais.

9. CONCLUSÕES

Os cenários de agroecossistemas de cana-de-açúcar em três alternativas de custos ambientais mostraram que o planejamento para evitar os danos ambientais pode ser mais rentável que o pagamento por estes custos. O cenário da incorporação das ditas externalidades indicou que os custos energéticos crescem, mas em escala reduzida, dando margem ainda a considerar que é uma opção viável tomar estes custos como investimentos para um futuro manejo ambiental mais sustentado, quando o nível de riqueza social for maior.

Os resultados indicaram custos energéticos maiores para a internalização dos custos ambientais do que para os outros cenários. Indicaram também que é possível a produção financeiramente rentável com ecossistema sustentado, que as diferenças dos valores da energia despendida entre os três ainda é pequena e que a perspectiva sustentada somente será atrativa a partir da definição social de maiores valores aos aspectos ambientais.

As diferenças finais entre os valores energéticos dos cenários não foram substantivas, indicando mais uma subavaliação dos componentes ambientais deprimidos ou usados, que foram deliberadamente tomados como as menores estimativas analisadas. O que se pretende é estabelecer o padrão mínimo como referência à continuidade destas análises de agroecossistemas de cana e de outros ecossistemas, agrícolas ou não.

10. BIBLIOGRAFIA

- CASARINI, Doroty C. P.. *Efeito da fertirrigação com vinhaça nas propriedades químicas e microbiológicas do solo em um sistema de disposição de efluente industrial*. São Carlos. 1989. Tese de doutoramento. EESC -USP.
- COMMONER, Barry. *The poverty of power : energy and the economic crisis*. Bantam Book. USA. 1977.
- CRUZ, Raimundo Leite. *Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea*. São Carlos. 1991. Tese de doutoramento - EESC USP.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Energy and economic myths*. Mimeo. Curso proferido na Yale University. 1972.
- GOLDEMBERG, Jose et al. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. *Science*. USA. vol. 201, September 1978. p. 903 - 906.
- GOLDEMBERG, Jose et al. *Energy for a sustainable world*. Wiley Eastern Limited. New Delhi - India. 1988.
- HOHMEYER, Olav. Internalização de efeitos externos. In : AB'SABER, Aziz ; MÜLLER-PLATENBERG, Clarita orgs. *Previsão de Impactos*. EDUSP. 1994.
- LEITE, Rogério C.. *Pró-Álcool. A única alternativa para o futuro*. Editora da Unicamp. 1990.
- MAY, Peter H. org. *Economia Ecológica: Aplicações no Brasil*. Editora Campus. 1995.
- MAXWELL, Judith ; CONSTANZA Robert . An ecological economics for Ecological Engineering : an introduction to ecotechnology. in MITSCH W.J. e JORGENSEN S.E. *Ecological Engineering*. Ed. Wiley. New York. 1989.
- PILLET, Gonzague. Mettre un prix sur ce qui n'a pas de prix. *Ecodecision*, juin/june, Canada. 1992. p. 40 - 42.
- PHILLIPSON, John. *Ecologia energética*. São Paulo. Editora Nacional. 1977.
- PLANALSUCAR. *Previsão e análise tecnológica do Pró-Álcool.. Relatório final*. Execução Planalsucar - USP - Instituto Mauá de Tecnologia. 1981.
- SZMRECSÁNYI Tamás. coord. *Pesquisa de mercado do álcool de can no Estado de São Paulo*. Conselho Estadual de Energia. 1987.