



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**CURSO ENERGIA NA INDÚSTRIA DE  
AÇÚCAR E ÁLCOOL**

**EXTERNALIDADES E CUSTOS  
AMBIENTAIS NO SETOR DE  
AÇÚCAR E ÁLCOOL**

Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho  
Msc. Claudia Rodrigues Faria Brighenti

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa  
IEE - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP  
[www.cenbio.org.br](http://www.cenbio.org.br) - [cenbio@cenbio.org.br](mailto:cenbio@cenbio.org.br)



**12 a 16 de julho de 2004**

## Índice

1. INTRODUÇÃO .....	4
2. CONCEITOS BÁSICOS DE EXTERNALIDADES .....	7
3. AVALIAÇÃO DAS EXTERNALIDADES .....	11
3.1. Metodologias existentes para avaliação dos custos ambientais .....	12
3.2. Avaliação de Ciclo de Vida (Acv) .....	15
3.3. Análise Termoeconômica .....	16
4. INCORPORAÇÃO DE EXTERNALIDADES NO CUSTO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE .....	20
4.1. ....As Externalidades no processo de cogeração de eletricidade a partir do Bagaço de Cana .....	26
4.1.1. Os impactos ambientais na agroindústria da cana-de-açúcar.....	27
4.1.2. A valoração das externalidades .....	31
5. CONCLUSÕES .....	33
6. REFERÊNCIAS .....	34



## **EXTERNALIDADES E CUSTOS AMBIENTAIS NO SETOR DE AÇÚCAR E ÁLCOOL**

### **1. INTRODUÇÃO**

As vantagens de se produzir eletricidade através de biomassa, tal como o bagaço de cana, e também a venda do excedente produzido por cogeneradores são temas que já foram estudadas por inúmeros autores (COELHO, 1999 , NOGUEIRA, 1987, WALTER, 1994, FAIJ, 1998, MOREIRA, 2002, entre outros). Nesses diversos trabalhos foram analisados os benefícios que essa forma de geração de eletricidade traz para este setor industrial e para a sociedade em geral, enfocando aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais.

Entretanto, quase todos os estudos analisam esta forma de geração de energia elétrica dentro da ótica convencional, sem incluir os custos ambientais. Desta forma, a geração de energia elétrica a partir de biomassa pode não se mostrar competitiva, quando comparada com outras formas de geração, principalmente gás natural ou hidráulica. Por outro lado, há as conhecidas vantagens ambientais no uso de algumas formas de biomassa, quando comparada com os combustíveis fósseis ou outras formas mais tradicionais, e todos esses aspectos deveriam ser analisados.

Na avaliação econômica tradicional, os custos ambientais não são incluídos diretamente, a sociedade é que paga por eles. Esses custos ou benefícios são conhecidos como externalidades (ou custos ambientais), e podem ser quantificados e valorados, o que é de grande interesse para a sociedade em geral (MÖLLERSTEN et. al,

2002). Uma adequada compreensão destes custos permite uma avaliação econômica mais realista da alternativa energética que o bagaço de cana permite.

O cultivo de biomassa, mais precisamente de cana de açúcar, para fins energéticos permite ao Brasil ocupar uma posição estratégica privilegiada no cenário mundial. O país possui inúmeras áreas de terra fértil, insolação abundante e disponibilidade de recursos hídricos, que compõem o cenário ideal para a absorção e armazenamento da energia solar na cana-de-açúcar. Este armazenamento de energia renovável e a sua possível conversão em energia elétrica ou combustível fornecem ao país uma alternativa de fornecimento energético aos derivados de petróleo e outros combustíveis fósseis.

No médio prazo, os combustíveis fósseis tendem a perder mercado à medida que os impactos negativos causados pelo seu uso em larga escala forem contabilizados, como já vem sendo feito em vários países (ExternE, 1997).

A geração de excedentes de eletricidade na indústria sucroalcooleira é uma alternativa viável de produção de energia elétrica para suprir as necessidades do mercado, principalmente na região sudeste, onde se encontra a grande maioria das empresas do setor.

Mesmo sendo a energia proveniente da biomassa uma alternativa renovável aos derivados do petróleo, há questões a serem analisadas a fundo para garantir a sustentabilidade da sua utilização. Temas como a mecanização da colheita em substituição à colheita manual, a utilização dos recursos hídricos no processo, a geração de emprego no campo, devem receber um tratamento adequado nesta análise, para fornecer os subsídios necessários ao aproveitamento sustentável desse recurso.



Fontes de energia alternativa precisam competir economicamente com as fontes tradicionais de maneira a ocupar uma fração significativa do mercado. Assim, é necessário o aperfeiçoamento dos estudos de viabilidade econômica dos projetos de geração elétrica no Brasil, de forma a quantificar e incluir adequadamente seus custos e benefícios, incorporando efetivamente as externalidades ao sistema de planejamento energético do país (COELHO, 1999). Esse conhecimento permite fornecer melhores informações para a tomada de decisão, inclusive no nível de políticas públicas, que favoreçam produtos com melhor desempenho ambiental e social.

A valoração das externalidades é, de fato, tarefa difícil, como todos os estudos existentes reconhecem, mas na verdade, não atribuir nenhum valor significa – implicitamente – impor que o ambiente não tem valor algum (BLAND, 1986). Desta forma é quase um consenso, entre os especialistas, que é preferível optar por um sistema de avaliação das externalidades, ainda que quase sempre imprecisas, do que ignorá-las completamente.

Para que se possa fazer o levantamento das externalidades ao longo de todo o ciclo da produção de eletricidade a partir de bagaço, de forma a avaliá-las, pode-se utilizar o conceito de Análise de Ciclo de Vida, ACV. O ciclo de vida de um produto inicia quando os recursos naturais para sua produção são extraídos da natureza, e termina quando os materiais, resíduos e emissões retornam à natureza (SILVA, 2002). Através da ACV busca-se, portanto, avaliar um produto desde a extração da matéria prima até sua destinação final após o uso. Em inglês usa-se a expressão *'cradle-to-grave approach'* (do berço ao túmulo) para reforçar a intenção de uma abordagem



completa do processo produtivo (UNEPTIE, 1999; FALKMANN, 1996; SETAC, 1993).

A ACV tem suas linhas gerais estabelecidas por um conjunto de normas da série ISO 14040. Neste contexto ela foi definida como *“um processo objetivo para avaliar um produto, atividade ou processo, identificando e quantificando a energia, os materiais utilizados e os resíduos liberados ao ambiente, com o objetivo de por em prática melhorias ambientais”* (SETAC,2001).

No entanto, o maior obstáculo à realização de uma ACV é a falta de dados confiáveis, uma vez que a ACV é uma metodologia intensiva no uso de informações. Para isto, deve-se buscar o desenvolvimento de bancos de dados para cada realidade (SILVA, 2002). Conforme assinala SORENSEN, 1992: “...o uso de dados de outros países introduz incertezas muito grandes, portanto é necessário que cada país construa sua base de dados”. Para o caso brasileiro, a maior parte dos trabalhos só analisa impactos com relação ao ar, não enfocando o impacto no solo e água (COELHO, 1999, MACEDO, 2003, entre outros). Assim, o levantamento de dados da situação brasileira poderá proporcionar maior confiabilidade nos estudos de avaliação da geração de energia elétrica a partir de bagaço de cana.

## **2. CONCEITOS BÁSICOS DE EXTERNALIDADES**

Externalidades são custos ou benefícios que não estão incluídos nos preços (BOLOGNINI, 1996). Podem ser também chamadas de custos externos ou custos ambientais, mas que acabam por serem pagos, de



forma indireta, pela sociedade devido à degradação ambiental, de saúde, necessidade de mais impostos, etc. (COELHO, 1999).

As externalidades não se limitam a impactos ambientais ou sobre a saúde. Na agroindústria da cana de açúcar, existe um considerável número de externalidades, tais como a queimada que precede o corte, a destinação da vinhaça e do bagaço, o padrão de uso dos recursos naturais. Desta forma, as externalidades podem incluir tanto os efeitos negativos (danos) como efeitos positivos (benefícios).

Nos projetos de geração de energia elétrica, na maioria dos casos o valor dos custos ambientais não são incluídos no custo total do projeto. São considerados custos de capital, de combustível de operação e manutenção, entre outros. Assim, ocorre que os custos de geração obtido para projetos que usam as tecnologias convencionais acabam sendo inferiores aos custos para produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

Dessa forma, custos com danos ambientais, tais como contribuição para chuva ácida e para efeito estufa, degradação da qualidade do ar, que representam impactos significativos para a população, não são incluídos nas análises econômicas. Algumas vezes, os custos ambientais incluídos limitam-se àqueles necessários para reduzir o impacto, mas somente o necessário para atender alguma legislação específica sobre o tema.

Como analisa OTTINGER et al., 1991, algumas concessionárias de eletricidade consideram a incorporação destes custos de diversas formas, quando se trata da inclusão de externalidades ao



planejamento, licitações ou qualquer outro procedimento de utilização de recursos.

OTTINGER et al., 1991, argumentam que existem duas razões principais pelas quais as concessionárias e as comissões regulatórias devem considerar as externalidades no processo de seleção de recursos naturais:

- As concessionárias têm a obrigação de servir o interesse público e esta responsabilidade inclui a proteção ambiental;
- É previsível que leis internacionais, federais e estaduais imponham controles ambientais estritos ao longo dos 30-40 anos que correspondem à vida útil da usina geradora de eletricidade, de forma que é imprudente investir em recursos que terão que ser abandonados ou que necessitarão de modificações de alto custo para atender aos padrões ambientais no futuro.

Desta forma, quando as comissões regulatórias exigem a inclusão das externalidades no planejamento das concessionárias, os custos destas externalidades não estão sendo internalizados na estrutura existente de preços, mas apenas estão sendo usados para tomada de decisão mais prudente sobre os recursos naturais do país.

A metodologia para estabelecer os custos ambientais é baseada nas avaliações de emissões correspondentes a cada tecnologia e combustível. São também avaliadas as concentrações de poluentes atmosféricos em função de modelos de dispersão atmosférica e de reações químicas. Em seguida é efetuada a caracterização da população exposta à poluição decorrente do processo, para então ser



estimado o impacto em termos econômicos, dentro da metodologia de custo do dano em consequência da geração de eletricidade. São considerados apenas os custos da geração de eletricidade até a disposição dos resíduos ao final do ciclo do combustível. São também analisados os métodos de incorporação destes custos pelas autoridades federais, estaduais e regulatórias.

A avaliação dos custos ambientais partiu de estudos existentes para processos convencionais de geração de eletricidade, tanto nos Estados Unidos, como Europa e Brasil. Em 1991, iniciou-se o projeto ExternE, como parte de estudo conjunto entre Comissão Européia e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), visando desenvolver metodologias para avaliação dos custos ambientais (externalidades) para um conjunto de combustíveis (ciclo total).

No Brasil, a questão é extremamente crítica, pois a legislação brasileira a respeito da emissão de poluentes em fontes estacionárias ainda não é adequada, e não existem formas eficientes de controle (BRIGHENTI, 2003). A situação pode se agravar, com o atual crescimento do número de termelétricas seja a gás natural da Bolívia, ou a carvão na região Sul do país assim como também pelo crescimento da cogeração no setor sucro-alcooleiro. Neste caso específico de termelétricas, é importante destacar que a legislação brasileira para fontes estacionárias de combustão, elaborada pelo CONAMA (Resolução nº 008 de 06/12/90), define limites de emissão apenas para SO<sub>x</sub> e particulados, não havendo limitações para o NO<sub>x</sub>.

Algumas legislações internacionais já estabelecem limites para emissão de NO<sub>x</sub> para fontes estacionárias. É o caso da Comunidade Econômica Européia, Alemanha, Japão, Estados Unidos, Suécia e



França (COELHO, 1999). No Brasil, com relação ao NO<sub>x</sub>, suas emissões são controladas somente no que diz respeito a Qualidade do Ar, segundo a Resolução CONAMA 03, de 28/06/90.

Os padrões de qualidade do ar determinam os valores limites para as concentrações de poluentes na atmosfera, enquanto os padrões de emissão de fontes estacionárias determinam a quantidade máxima permissível de poluentes que uma determinada fonte poluidora pode emitir.

Diante deste quadro, pode-se avaliar a “importância e a magnitude dos impactos ambientais decorrentes da produção de eletricidade, evidenciando a necessidade da incorporação dos seus custos no planejamento energético” (FURTADO, 1996).

### **3. AVALIAÇÃO DAS EXTERNALIDADES**

Avaliações dos custos decorrentes dos impactos ambientais e sociais têm sido tratadas em vários estudos (BLUHM et al., 1995, OTTINGER et. al. 1991, HERZ, 1994 , ExternE, 1995 , MANN e SPATH, 1997, ROWE et. al., 1995, entre outros). Entretanto, os métodos utilizados e a valoração das externalidades ainda causam grande controvérsia.

Sabe-se que os impactos ambientais podem ser diretos ou indiretos, manifestar-se a curto ou longo prazo, ser de curta ou longa duração, reversíveis ou irreversíveis, de natureza cumulativa ou sinérgicos (BOLOGNINI, 1996). Essas características dificultam a quantificação dos impactos ambientais, sendo possível, em poucos casos, avaliá-los quantitativamente com precisão.

Qualquer que seja o procedimento escolhido para atuar sobre os impactos ambientais, ressalta-se a importância da sua avaliação econômica, da identificação dos custos e benefícios ambientais. Desta mensuração e monetização dependem as decisões a serem tomadas em relação ao ressarcimento da sociedade (procedimentos compensatórios), e de evitar o dano (procedimentos de prevenção).

É preciso ressaltar que determinadas técnicas, embora criadas para um determinado tipo de avaliação, podem se mostrar adequadas para diferentes casos, diferentes mercados, ou ser usadas como auxiliares uma das outras. Como exemplo, pode-se citar a taxa de desconto, utilizada em geral na análise custo-benefício e que permite a comparação de valores presentes e futuros, sem a qual não se pode agregar perdas futuras, decorrentes de determinado impacto ambiental, às presentes.

### **3.1. Metodologias existentes para avaliação dos custos ambientais**

Dentre as metodologias existentes para avaliar e internalizar os custos ambientais na geração de energia, existem basicamente dois métodos: o custo do dano e o custo de controle.

- **Custo de Controle**

O custo de controle representa o valor monetário da proteção ambiental, isto é, quanto a sociedade deve pagar para evitar o impacto ambiental (FURTADO, 1996). Assim, os custos internalizados, neste caso, se referem a medidas de mitigação dos

efeitos ou medidas para prevenir os impactos. O custo de controle pode ser dividido em dois outros custos, a saber:

- Custo de controle, que é o custo para evitar o impacto ambiental, quando a medida a ser tomada visa reduzir o impacto ambiental agindo diretamente na fonte poluidora;
- Custo de mitigação, que é o custo para gerenciar ou reduzir o impacto. O termo Mitigação é usado quando não há uma ação prévia para reduzir o impacto. Assim, as medidas visam apenas mitigá-lo.

Estas medidas tentam proteger o meio ambiente, reduzindo o impacto a zero ou a um nível que a sociedade aceite. A principal vantagem desse método é a facilidade de determinar o custo de controle, pois possui dados correspondentes mais acessíveis que os custos dos danos (OTTINGER *et al.*, 1991).

- **Custo do Dano**

O custo do dano se baseia na valoração do dano econômico provocado (PEARCE *et al.*, 1992). Este método valora efeitos ambientais como, por exemplo, a perda de produção econômica devida aos impactos do projeto. Representa o benefício que a sociedade terá evitando a externalidade, ou seja, o benefício monetário da proteção ambiental.

A maior dificuldade para utilizar o custo do dano é sua valoração. Segundo OTTINGER *et al.*, 1991, “o custo do dano representa melhor o custo real do risco ambiental para a sociedade”, pois não se pode



acreditar que o custo de controle tenha relação com o dano econômico associado ao risco ambiental.

O custo de controle pode ser uma boa opção para incorporação de externalidades, quando o custo do dano não é possível. Segundo FURTADO, 1996, existem três grandes desafios relativos à valoração monetária dos efeitos ambientais:

- Descobrir o nível de custo de controle que seja economicamente eficiente;
- Determinar o dano evitado como resultado da aplicação das ações de controle e,
- Encontrar o melhor método para estimar o custo real dos riscos ambientais.

OTTINGER et. al (1991) analisam os métodos que as autoridades federais, estaduais e reguladoras dos EUA usam para a incorporação de externalidades, os quais são:

- Quantitativo: as comissões incorporam os custos (ou benefícios) ambientais em termos específicos (por kWh gerado), refletindo o custo do dano ambiental ou permitindo o crédito correspondente a um processo menos poluente;
- Qualitativo: as comissões exigem que as concessionárias considerem os impactos ambientais sem especificar os custos correspondentes;
- Taxa de Retorno: as comissões permitem o uso de uma maior taxa de retorno para investimentos em tecnologias não poluentes; e,
- Custo Evitado: as comissões elevam o custo evitado para levar em conta os custos ambientais.



Desta mensuração e monetarização dependem as decisões a serem tomadas em relação ao ressarcimento da sociedade (procedimentos compensatórios), e de evitar o dano (procedimentos de prevenção).

### **3.2. Avaliação de Ciclo de Vida (Acv)**

A ISO 14.040 define a ACV como uma compilação e avaliação das entradas, saídas e do impacto ambiental potencial de um sistema de produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Uma ACV deve incluir (ISO, 1997):

- definição dos objetivos e escopo;
- análise de inventário;
- avaliação de impactos; e,
- interpretação de resultados.

#### **▪ Definição de Objetivos e Escopo e Análise de Inventário (ISO, 1998)**

A definição de objetivos e escopo é importante porque determina o propósito da condução de uma ACV (inclusive o uso pretendido dos resultados) e descreve o sistema e as categorias de dados a ser estudado. O propósito, escopo e uso pretendido influenciarão na direção e profundidade do estudo, tratando de questões tais como extensão geográfica, horizonte de tempo e qualidade dos dados necessários. A análise do inventário envolve a coleta dos dados necessários para se atingir os objetivos do estudo. Essencialmente, constitui um inventário de entradas e saídas do sistema estudado.

A análise de inventário do ciclo de vida trata da coleta de dados e procedimentos de cálculo. A coleta de dados é feita com base no sistema do produto ao nível das unidades de processo. De acordo com o glossário da ISO 14.040, a unidade de processo é a menor parte do sistema para as quais são coletados os dados em uma ACV.



Um sistema de produto é uma coleção de unidades de processo conectadas por fluxos de produtos intermediários, que realiza uma ou mais funções. A descrição de um sistema de produto inclui unidades de processo, fluxos elementares (para dentro e para fora do sistema) e fluxo de produtos intermediários dentro do sistema.

- **Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida (ISO, 2000a)**

A Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida tem como propósito avaliar um sistema de produto para entender melhor sua importância ambiental. Nesta fase, questões ambientais, chamadas de categorias de impacto, são modeladas e indicadores são usados para condensar e explicar os resultados da fase anterior. Os indicadores devem refletir as emissões e o uso de recursos para cada categoria de impacto. Estes indicadores representam o impacto ambiental potencial do sistema do produto.

- **Interpretação do Ciclo de Vida (ISO, 2002b)**

Na fase de interpretação do ciclo de vida, os resultados da análise de inventário do ciclo de vida e da avaliação de impactos do ciclo de vida, se conduzida, são resumidos e discutidos para embasar as conclusões, recomendações e tomada de decisão, de acordo com os objetivos e escopo definidos.

A interpretação do ciclo de vida é um procedimento sistemático para identificar, qualificar, verificar e avaliar informações geradas na análise de inventário e/ou na avaliação de impactos, e apresentá-las para atender aos requerimentos de publicação, de acordo como foi definido nos objetivos e escopo do estudo.

### **3.3. Análise Termoeconômica**

O termo “Análise Termoeconômica” se aplica à análise econômica de processos efetuada em base exérgica (e apenas neste caso) (COELHO, 1999).

Segundo SZARGUT (1988), Exérgia é “a quantidade de trabalho obtida quando uma massa é levada até um estado de equilíbrio termodinâmico com os componentes comuns do meio ambiente, através de processos reversíveis, envolvendo apenas interação com os componentes do meio ambiente”. Pode-se dizer que Exérgia é composta por quatro componentes: cinética (c), potencial (p), física (f) e química (q).

Para processos reais a entrada de exérgia sempre supera a saída de exérgia. Este desequilíbrio se deve às irreversibilidades ou destruição de exérgia. A saída de exérgia de um sistema inclui o produto e os resíduos. A destruição de exérgia e a exérgia contida nos resíduos constituem perdas de exérgia. A irreversibilidade, por definição, possui exérgia nula, e portanto não causa nenhum efeito ambiental direto. Entretanto, uma grande destruição de exérgia significa que uma grande quantidade de exérgia (entradas) estão sendo consumidas, e isso pode causar impacto ambiental. Algumas vezes pode ocorrer que parte da exérgia que entra em um processo não é afetada, esta exérgia é denominada Exérgia em trânsito ( $Ex_{tr}$ ) (WALL, 2002).

O fluxo exérgico em um processo ou sistema pode ser analisado com auxílio de um diagrama de fluxo onde as exérgias são avaliadas para os subsistemas que compõe o sistema total. Neste contexto, cada subsistema possuirá processos doadores e receptores de exérgia (WALL, 2002). A Figura 1 apresenta a análise dos fluxos de exérgia em um sistema.

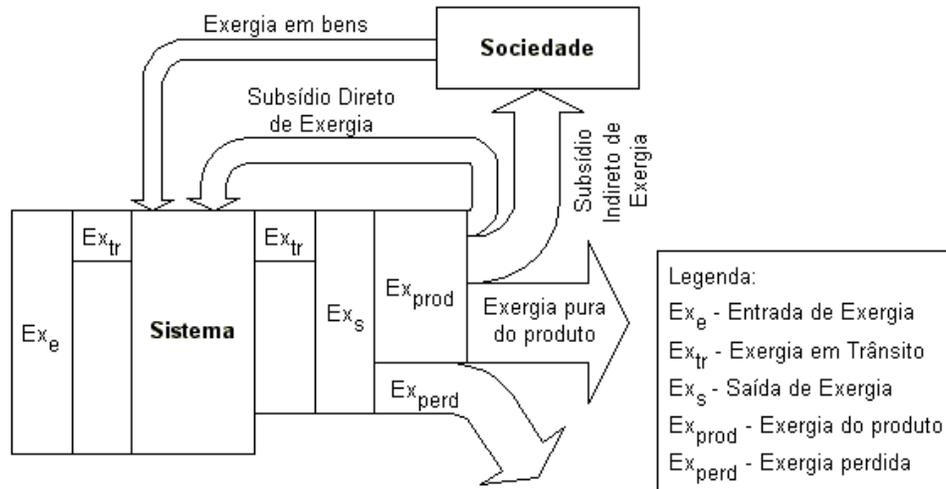


Figura 1 – Análise Exergética de um sistema ou processo (WALL, 2002).

No processo de cogeração, que é a produção combinada de energia eletro-mecânica e calor útil a partir de uma única fonte de calor, existem dois produtos cujos custos de geração devem ser calculados: a eletricidade e o vapor. Assim, é necessária a utilização da Análise Termoeconómica (análise exergética), de forma a permitir uma avaliação real dos custos do vapor e da eletricidade, e de forma a efetuar a partição dos impactos entre os dois produtos. COELHO (1999) aponta a Análise Exergética como a mais indicada para a partição ou alocação de impactos em sistemas com mais de um produto, como é o caso da geração de energia elétrica a partir de biomassa da cana-de-açúcar.

Para um processo com mais de um produto, onde se inclui o caso da cogeração, devem ser empregados critérios (métodos de partição) para determinar os custos específicos de cada um dos produtos, a eletricidade e o vapor, tais como:

- Método de igualdade
- Método de extração
- Método do subproduto

No método de igualdade, considera-se que todos os produtos tem o mesmo custo exergético específico, isto é, o custo exergético específico do vapor de baixa pressão (vapor de processo) é igual ao da eletricidade. Assim, o custo da turbina fica igualmente distribuído pelos produtos da planta: eletricidade e vapor. Para processos de cogeração onde não há geração de excedentes, esta parece ser a melhor metodologia, pois estabelece uma relação de igualdade entre dois insumos energéticos do processo.

Já quando a eletricidade é produzida apenas para terceiros, sendo o vapor destinado à própria planta, parece mais adequado que o custo da turbina seja amortizado inteiramente pela eletricidade, o que conseqüentemente eleva o custo deste produto: este é o chamado método de extração.

O método do subproduto considera um dos produtos como produto primário, sendo o outro considerado como subproduto. Assim, o vapor de baixa pressão é considerado produto primário, a eletricidade é considerada como subproduto. Neste caso, o custo do vapor de baixa pressão é avaliado através da melhor alternativa disponível para obtê-lo. Este pode ser considerado o método mais adequado para avaliação do custo de geração de excedentes do cogrador, uma vez que permite à empresa manter seus custos energéticos do processo, sem por outro lado incluir na eletricidade gerada todos os custos de geração (COELHO, 1999).

Em COELHO, 1999, essa metodologia é apresentada em detalhes, de forma a permitir que se possa estabelecer o custo real de geração tanto da eletricidade como do vapor consumidos no processo.

#### **4. INCORPORAÇÃO DE EXTERNALIDADES NO CUSTO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE<sup>1</sup>**

Sabe-se que a geração de energia, em particular a energia elétrica, poderia ser efetuada com menores conseqüências ambientais e sociais se seus impactos fossem analisados previamente, visando sua minimização e avaliando a conveniência ou não da realização da obra. O que se verifica é que há necessidade de aperfeiçoar os estudos de viabilidade econômica dos projetos de geração de energia elétrica no Brasil, de forma a quantificar e incluir adequadamente seus custos e benefícios, em particular incorporando efetivamente as externalidades ao sistema de planejamento energético do país.

No Brasil, ainda não existem muitos estudos que apresentem as externalidades na geração de energia elétrica. Em COELHO, 1999, é feita uma revisão de alguns estudos clássicos sobre externalidades, e são apresentados alguns custos ambientais de geração, de forma a permitir uma comparação real das diferentes opções de suprimento de energia elétrica, contemplando não apenas os custos de geração avaliados pelos métodos tradicionais, mas também os custos para a sociedade como um todo (as externalidades).

A seguir, serão apresentados alguns estudos que são referências para o levantamento das externalidades.

- **O estudo da Pace University – EUA (OTTINGER et. al, 1991)**

Este trabalho apresenta um resumo de diversos estudos existentes até então, que avaliam principalmente os custos do dano em consequência da geração de eletricidade. São considerados apenas os custos da geração de eletricidade até a disposição dos resíduos ao final do ciclo do combustível. No trabalho, são também analisados os métodos que as autoridades federais, estaduais e regulatórias dos EUA usam para a incorporação destes custos.

Os custos ambientais na produção do combustível e também na produção de equipamentos, transportes, etc., não foram incluídos, apesar de serem significativos. Nota-se também a exclusão das externalidades não ambientais, embora sejam também consideradas significativas.

Os principais poluentes que foram consideradas neste estudo foram os seguintes:

- Poluição do ar: os principais poluentes considerados são o CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NOx e particulados. Para o CO<sub>2</sub>, emitido a partir dos combustíveis fósseis e no ciclo do combustível nuclear, o estudo utiliza o método de custo de controle, particularmente o custo para plantação de árvores, como uma aproximação para as externalidades do CO<sub>2</sub>, uma vez que não foram encontrados estudos referentes ao custo do dano, neste caso.
- Poluição das águas e uso da terra: o estudo analisa a poluição térmica decorrente do sistema de resfriamento (condensador) das usinas termelétricas e a contaminação dos lençóis freáticos quando as cinzas são dispostas em aterros. No caso das usinas

---

<sup>1</sup> Este capítulo baseia-se em COELHO, 1999.

hidrelétricas, apesar de não ter estudos genéricos para atribuir custos ambientais, as externalidades são significativas. No caso do uso da terra, além de analisar a questão da ocupação, há o problema da contaminação e, no caso das usinas a carvão, a questão das cinzas de combustão. As usinas nucleares têm o problema dos rejeitos radioativos e para as hidrelétricas é discutido o caso da inundação de terras férteis.

Os resultados deste estudo foram expressos em dólares por kWh. As externalidades foram avaliadas com base na metodologia de custo de dano (exceto no caso das emissões de CO<sub>2</sub>). As externalidades correspondentes às usinas nucleares foram divididas em duas categorias. Os danos causados à saúde, propriedades, flora e fauna por emissões de rotina, aqueles causados por emissões não rotineiras (para as quais não existem estudos), para as emissões acidentais e os custos referentes à desmontagem não internalizados nos estudos convencionais. Os resultados são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 1: Externalidades para usinas termelétricas a combustíveis fósseis

Poluente	Emissões		
	Termelétrica a carvão	Termelétrica a óleo combustível	Termelétrica a gás natural
SO <sub>2</sub>	0,48-1,80	0,54-2,38	0
NO <sub>x</sub>	0,06-0,607	0,357	0,0242-0,248
Particulados	0,01-0,15	0,055-0,174	0,0002-0,003
CO <sub>2</sub>	209	169	110
Externalidades (US\$/MWh)	25-58	32-79	8-12

Fonte: OTTINGER et. al., 1991 em COELHO, 1999

- **O estudo da União Europeia (ExternE, 1997)**



Em 1992, o Tratado de Maastricht, que criou a União Europeia (EU), introduziu como principal objetivo desta União o princípio de desenvolvimento econômico sustentável com relação ao meio ambiente. Uma das tarefas principais da comunidade científica da EU foram as pesquisas correspondentes às externalidades.

O projeto ExternE iniciou-se em 1991 como parte de um estudo conjunto entre a Comissão Europeia e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), visando desenvolver metodologias para avaliação dos custos ambientais (externalidades) para um conjunto de combustíveis (ciclo total).

O projeto foi dividido em três partes:

- 1) Desenvolvimento dos conceitos básicos e metodologias a serem empregadas para os ciclos dos combustíveis, em conjunto com o DOE;
- 2) Aplicação da metodologia desenvolvida para diferentes combustíveis fósseis, nucleares e renováveis, para geração de energia elétrica e opções de conservação de energia, sendo estendida também para os setores de transporte e doméstico, além de incluir outras externalidades não ambientais; e,
- 3) Desenvolvimento de políticas adequadas para a introdução de externalidades no planejamento energético.

A maior ênfase do estudo foi no sentido de estabelecer uma metodologia, mais do que calcular os valores das externalidades, ao contrário de outros estudos existentes (OTTINGER *et al.*, 1990, HOHMEYER, 1998, BERNOW e MARROW, 1990, entre outros). Em muitos casos, os valores das externalidades são utilizados para o

planejamento energético sem maiores considerações sobre as hipóteses e metodologias utilizadas, o que não é o caso do estudo em questão.

Neste estudo, foram revistos e utilizados os dados científicos, modelos e funções dose-resposta considerados os melhores entre aqueles disponíveis na literatura, com base essencial na metodologia de custo do dano. Foram também avaliadas as metodologias para estabelecer os custos ambientais, emissões correspondentes a cada tecnologia e combustível, assim como as concentrações de poluentes atmosféricos em função de modelos de dispersão atmosférica e reações químicas. Em seguida é efetuada a caracterização da população exposta à poluição decorrente do processo, para então ser estimado o impacto em termos econômicos, dentro da metodologia de custo de dano

Para atingir os objetivos propostos, foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de externalidades associada com o ciclo completo do combustível (isto é, incluindo não apenas o processo de geração de energia, mas todos os impactos na cadeia de produção do combustível);
- Aplicação da metodologia para um conjunto de ciclos de combustível;
- Aplicação para diferentes tecnologias e localidades;
- Desenvolvimento de métodos para a agregação dos resultados de forma que os mesmos sirvam para o estabelecimento de políticas adequadas.

A principal diferença entre o estudo da Pace University e o ExternE é que o primeiro considera apenas as emissões poluentes no processo de geração de energia elétrica e o segundo inclui todos os impactos do ciclo completo do combustível. Alguns resultados são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 2: Externalidades calculadas para geração de eletricidade através da metodologia de custo de dano, para o ciclo completo do combustível (ExternE,1995)

Energético	Sem incluir o efeito de aquecimento global	Com o efeito de aquecimento global
	US\$/kWh	US\$/kWh
Carvão	7,2-19,2	12,00-18,00
Nuclear	0,06-3,00	n.d.
Lignita	12	22,80-26,40
Óleo	13,20-14,40	7,20-14,40
Gás	0,84	4,80-9,60

Fonte: ExternE, 1995 em COELHO, 1999

- **FURTADO, 1996**

Este estudo foi o primeiro a avaliar as externalidades para o setor elétrico brasileiro.

Neste trabalho, são analisadas três tipos de geração de energia no Brasil: uma usina hidrelétrica na Amazônia (belo Monte), uma termelétrica a carvão na região Sul do país (Candiota) e uma usina nuclear (Angra II). Para cada caso, são avaliados os custos ambientais correspondentes à geração de eletricidade, incluindo os custos dos impactos na construção e na operação das usinas, e comparados com os custos oficiais definidos pela Eletrobrás. Não são incluídos neste estudo os impactos referentes ao ciclo completo do

combustível, pois embora estes custos sejam expressivos, não puderam ser incluídos.

Neste estudo, as externalidades foram avaliadas pelo método do custo do dano, e em seguida comparadas com os custos ambientais oficiais, que são obtidos pelo método de custo de controle. Alguns resultados são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 3: Comparação dos custos ambientais convencionais de geração de eletricidade

Custos	Belo Monte (UHE)	Candiota III (UTE)	Angra II (UN)
<b>Custos de geração</b>	35	52	70
<b>Custos de controle</b>	0,8	6,2-13,6	21,0-28,0
<b>Total</b>	35,8	52,0-59,4	70
<b>Custo do dano</b>	3,7-7,9	13,0-27,3	28,9-57,9
<b>Total (US\$/MWh) dólares de 1994</b>	38,7-42,9	65,0-79,3	98,9-127,9

Fonte: FURTADO, 1996 em COELHO, 1999

#### **4.1. As Externalidades no processo de cogeração de eletricidade a partir do Bagaço de Cana**

Conforme visto, ainda não existe uma metodologia consolidada que permita avaliar as externalidades do processo de geração de energia elétrica. Assim, neste item, será apresentado o trabalho de COELHO, 1999, que utilizou a avaliação termoeconômica e dados de emissões de diferentes trabalhos para apresentar as externalidades da geração de energia a partir de bagaço. Entretanto, deve-se ressaltar que neste trabalho foram avaliadas apenas as emissões para o ar na cogeração, não sendo avaliadas as emissões para a água e solo. Assim, serão apresentados os números que foram adotados em COELHO, 1999 para os cálculos das emissões na cogeração com bagaço de cana, para posterior comparação com os números apresentados anteriormente.

#### 4.1.1. Os impactos ambientais na agroindústria da cana-de-açúcar

Na parte agrícola, considerou-se o impacto causado pelas queimadas, tal como a tabela abaixo:

Tabela 4: Emissão de poluentes na queimada de cana-de-açúcar

Emissões nas queimadas (kg/tc)	
SO <sub>2</sub>	0
NO <sub>x</sub>	0
CH <sub>4</sub>	0,08125
CO	30
Particulados	3

Fonte: COELHO, 1999

As queimadas tendem a ser substituídas pela colheita da cana crua, embora ainda ocorra um elevado número de queimadas no Estado de São Paulo. Além do aspecto ambiental, existe também a preocupação com os empregos que são gerados na colheita manual da cana, que desapareceriam na colheita mecanizada.

Além das emissões das queimadas, temos também o consumo de óleo diesel na colheita da cana, no transporte da cana, e demais operações agrícolas. Alguns autores estimam este consumo, tal como UHLIG, 1995, que estima o consumo de combustível na colheita em 0,20 a 0,96 litros de diesel por tonelada de cana. Já MACEDO, 1997, apresenta valores de 4,15 a 4,55 litros de diesel por tonelada de cana.

Na parte industrial, a maior emissão de poluentes é em decorrência da queima de bagaços nas caldeiras a vapor. Para a avaliação deste poluente, foram usados os dados referentes a caldeiras do Estado de São Paulo, em particular dados de caldeiras monitoradas pela CETESB, tal como na tabela abaixo:

Tabela 5: Emissão de particulados em caldeiras a bagaço de cana

Condições de operação	Emissões de particulados (mg/Nm <sup>3</sup> )	Qtidade de part. emitida por ton. bagaço queimado (50% umidade)
Recomendação da CETESB	120	0,5
Caldeiras monitoradas pela CETESB	150	0,6
Caldeiras com multiciclone	500	2
Caldeiras sem retentor de fuligem	4000 a 6000	15 a 25

Fonte: PESSINE, 1999 em COELHO, 1999

Quanto à emissão de outros poluentes, tal como o NO<sub>x</sub>, não existem dados nacionais, e por isso foram adotados os dados da EPA, 1985 (Environmental Protection Agency). A tabela abaixo resume os dados referentes às caldeiras de bagaço que forma utilizados nos cálculos de COELHO, 1999.

Tabela 6: Emissões de poluentes em caldeiras a bagaço de cana

Emissões nas caldeiras de bagaço	
Poluente	kg/ton de bag.
SO <sub>2</sub>	0
NO <sub>x</sub>	0,6
CH <sub>4</sub>	0
CO	0
Particulados	0,6

Fonte: COELHO, 1999

A partir de todos esses dados, foram calculadas as emissões específicas (por kWh gerado) no processo todo do aproveitamento da cana-de-açúcar. Como neste processo são obtidos dois subprodutos energéticos, o etanol e a eletricidade, os custos ambientais devem ser repartidos entre os dois. Assim, para o cálculo das emissões específicas, foi estabelecida a partição em base exérgica, já mostrada anteriormente como a mais indicada para comparar calor e trabalho do ponto de vista termodinâmico. Essa metodologia, baseada no projeto ExternE, poderá ser encontrada com detalhes em COELHO, 1999, assim como as memórias de cálculo. A partição em base exérgica é necessária para que as emissões sejam de fato repartidas entre os diferentes insumos energéticos no processo industrial.

Para o cálculo da exergia total específica gerada, foram considerados os seguintes casos:

- Excedente gerado com turbina a vapor: foram considerados três casos, correspondendo à geração de 30 kWh/tc, 60 kWh/tc e 100 kWh/tc excedentes (par geração na safra/entresafra);
- Excedentes gerado em sistemas BIG/GT: 300 kWh/tc excedentes.

Assim, os valores para produção específica de vapor de processo e de energia elétrica e mecânica são mostrados a seguir.

Tabela 7: Consumos médios de energia e exergia no processo

<b>Turbina a vapor</b>		
<b>Cons. específico vapor</b>	491,15	kgv/tc
<b>Cons. exergético</b>	83	kWh/tc
<b>Cons. energ. elet/mec.</b>	25	kWh/tc
<b>BIG/GT</b>		
<b>Cons. específico vapor</b>	332	kgv/tc
<b>Cons. exergético</b>	56,1	kWh/tc
<b>Cons. energ. elet/mec.</b>	23	kWh/tc

Fonte: COELHO, 1999

Dessa forma, chegou-se aos seguintes valores das emissões de poluentes na cogeração com cana-de-açúcar, para diferentes consumos de óleo diesel na cultura. Neste trabalho, serão apresentados apenas os dados referentes à turbina a vapor como forma de ilustrar a metodologia. Em COELHO, 1999, encontram-se todos os dados, inclusive para sistemas BIG/GT.

Tabela 8: Emissões de poluentes obtidas a partir do consumo de diesel segundo ULIGH, 1995 (0,96 l de OD/tc)

Combustível	Bagaço de cana (0,96 lit. óleo diesel / tc)					
	Sistemas de turbinas a vapor					
Tecnologia	Sistemas de turbinas a vapor					
Consumo na agricultura	sem OD	com OD	sem OD	com OD	sem OD	com OD
Geração de excedentes (kWh/tc)	30		60		100	
Emissões totais (kg/MWh)						
CO <sub>2</sub>	0,00	18,44	0,00	15,14	0,00	12,23
SO <sub>2</sub>	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02
NO <sub>x</sub>	1,22	1,50	1,00	1,23	0,81	0,99
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	0,10	0,00	0,08	0,00	0,07
particulados	1,22	1,26	1,00	1,03	0,81	0,83

Fonte: COELHO, 1999

Tabela 9: Emissões de poluentes obtidas a partir do consumo de diesel no ciclo completo, segundo MACEDO, 1997 (4,15 l de OD/tc)

Combustível	Bagaço de cana (4,15 lit. óleo diesel / tc)					
	Sistemas de turbinas a vapor					
Tecnologia	Sistemas de turbinas a vapor					
Consumo na agricultura	sem OD	com OD	sem OD	com OD	sem OD	com OD
Geração de excedentes (kWh/tc)	30		60		100	
Emissões totais (kg/MWh)						
CO <sub>2</sub>	0,00	79,54	0,00	65,36	0,00	52,81
SO <sub>2</sub>	0,00	0,11	0,00	0,09	0,00	0,07
NO <sub>x</sub>	1,22	2,42	1,00	1,99	0,81	1,61
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	0,43	0,00	0,35	0,00	0,28
particulados	1,22	1,38	1,00	1,13	0,81	0,92

Fonte: COELHO, 1999

É importante também observar que as emissões indiretas de fósseis computadas correspondem apenas àquelas para a realização do processo de geração de energia, sem considerar o consumo indireto de energia para o restante do



processo industrial, uma vez que o objetivo é avaliar as emissões específicas do processo de geração.

#### 4.1.2. A valoração das externalidades

Como foi visto neste trabalho, vários estudos foram desenvolvidos para valoração dos impactos ambientais na geração de eletricidade, tanto nos Estados Unidos como na Europa. Os resultados são apresentados em termos de dólares por tonelada de poluente emitido e em dólares por kWh de eletricidade gerada para cada sistema de conversão. Evidentemente os resultados variam enormemente dependendo da localização geográfica, fatores de meteorologia, econômicos, etc. A valoração aqui apresentada serve apenas de exemplo de aplicação do uso de externalidades no planejamento energético, indicando conseqüentemente a necessidade de estudos mais profundos para determinar os custos ambientais para o setor elétrico brasileiro.

Os valores utilizados no trabalho de COELHO, 1999, para valoração das externalidades apontadas foram baseadas no trabalho desenvolvido pelo Tellus Institute (BERNOW e MARROW, 1990), que indica valores para as emissões de poluentes adotados pelos estados de Massachussets e Nevados.

Estes valores foram desenvolvidos através de uma análise do tipo “preferência revelada”, com relação às regulações - existentes ou futuras - para a qualidade do ar. Esta metodologia analisa os custos das regulações ambientais existentes e propostas para estimar os valores que a sociedade (implícita ou explicitamente) atribui aos impactos ambientais. Este valor pode ser considerado um limite inferior aos existentes custos do dano, admitindo que os reguladores estabeleceram uma razoável relação entre os custos e os benefícios das regulações para a sociedade. Assim, os custos para as emissões de NOx são baseados nos custos de um sistema de redução catalítica seletiva para uma termelétrica já usando um sistema

de injeção água quente/vapor. Os custos do SO<sub>2</sub> representam um sistema de “scrubbing” e, no caso dos particulados, corresponde a um filtro de mangas (“baghouse”). Os custos dos compostos orgânicos voláteis (VOC) incluem uma série de controles e o do CO inclui o uso de combustíveis oxigenados.

Esses resultados são mostrados na tabela a seguir.

Tabela 9: Exemplo de valoração dos poluentes

Custos Ambientais Específicos (referentes a instalações para limpeza dos gases)			
	US\$/lb*	US\$/kg	Descrição
SO <sub>2</sub>	0,4	0,88	(scrubbing)
NO <sub>x</sub>	2,92	6,424	(redução catalítica usando injeção de vapor/água)
CH <sub>4</sub>	0,06	0,132	
CO	0,41	0,902	(uso de oxigenados)
part(TSP)	1,05	2,31	(baghouse)
VOC	1,38	3,036	(conjunto de controles)

Fonte: Bernow e Marrow, 1990, em COELHO, 1999

Os custos específicos acima foram utilizados, a título de ilustração, para comparar as diferentes opções termelétricas de geração de eletricidade com a biomassa, em particular a cogeração a partir de bagaço de cana. As tabelas a seguir indicam os resultados obtidos, para cada uma das hipóteses adotadas anteriormente.

Tabela 10: Custos ambientais para a geração de eletricidade a partir de biomassa, comparadas com UTEs a gás natural (consumo de diesel segundo ULIGH, 1995, 0,96 l de OD/tc)

Combustível	Bagaço de cana (0,96 lit. óleo diesel / tc)					
	Sistemas de turbinas a vapor					
Tecnologia	sem OD		com OD		com OD	
Consumo na agricultura	sem OD	com OD	sem OD	com OD	sem OD	com OD
Geração de excedentes (kWh/tc)	30		60		100	
Emissões totais (US\$/MWh)						
SO <sub>2</sub>	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
NO <sub>x</sub>	7,82	9,62	6,42	7,90	5,19	6,38
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	0,09	0,00	0,07	0,00	0,06
particulados	2,81	2,9	2,31	2,38	1,87	1,92
<b>Custo total (US\$/MWh)</b>	<b>10,63</b>	<b>12,63</b>	<b>8,73</b>	<b>10,37</b>	<b>7,05</b>	<b>8,38</b>

Fonte: COELHO, 1999

Tabela 11: Custos ambientais para a geração de eletricidade (ciclo completo) a partir de biomassa, comparadas com UTEs a gás natural (consumo de diesel segundo MACEDO, 4,15 l de OD/tc)

Combustível	Bagaço de cana (4,15 lit. óleo diesel / tc)					
	Sistemas de turbinas a vapor					
Tecnologia	sem OD		com OD		com OD	
Consumo na agricultura	sem OD		com OD		com OD	
Geração de excedentes (kWh/tc)	30		60		100	
<b>Emissões totais (US\$/MWh)</b>						
SO <sub>2</sub>	0,00	0,1	0,00	0,08	0,00	0,07
NO <sub>x</sub>	7,82	15,56	6,42	12,78	5,19	10,33
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,00	0,39	0,00	0,32	0,00	0,26
particulados	2,81	3,19	2,31	2,62	1,87	2,12
<b>Custo total (US\$/MWh)</b>	10,63	19,23	8,73	15,80	7,05	12,77

Fonte: COELHO, 1999

Vale lembrar que o objetivo deste trabalho é ilustrar uma das metodologias que podem ser usadas para a avaliação das externalidades, e quais os resultados alcançados. Na verdade, existe ainda uma significativa divergência entre as metodologias e resultados correspondentes à valoração das externalidades ambientais. De qualquer forma, pode-se notar que existe a concordância de que a incorporação dos custos ambientais no planejamento energético é fundamental para a real avaliação das melhores opções a serem consideradas na oferta de energia.

## 5. CONCLUSÕES

O planejamento de recursos energéticos tem evoluído desde a avaliação econômica tradicional, passando pela avaliação de ciclo de vida e mais recentemente incluindo a avaliação termoeconômica que tem servido de base para novas metodologias mais amplas para avaliação do custo real associado ao uso dos recursos naturais.



O desenvolvimento de uma metodologia adequada ao contexto brasileiro que integra externalidades ao longo do ciclo de vida e avalia a sustentabilidade, permitindo a análise de sistemas agroindustriais energéticos por diversos ângulos, como de desempenho (medidas de indicadores) e valoração de externalidades (custos e benefícios) evolui no mesmo sentido do que é realizado em outros países, principalmente na América do Norte e Europa.

Entretanto, a valoração das emissões de poluentes precisa ser feita com base no cenário brasileiro, e não a partir de dados de trabalhos internacionais. Assim, o levantamento real dos custos ambientais brasileiros, a partir de dados relativos à dispersão de poluentes, incidência de doenças e óbitos decorrentes da poluição, bem como a valoração de impactos sobre a flora e fauna, entre outros, deve ser um objetivo a ser buscado.

## 6. REFERÊNCIAS

BLAND F. P. Problems of Price and Transportation: Two Proposals to Encourage Competition from Alternative Energy Resources. In: Harvard Environmental Law Review, pp. 345-416, 1986.

BERNOW, S., BIEWALD, B., MARRON, D. (1990). Environmental Externalities Measurement: Quantification, Valuation and Monetization. In: Hohmeyer, O., Ottinger, R. L., External Environmental Costs of Electric Power, Springer-Verlag, Berlin, 1991.

BOLOGNINI, M.F. Externalidades na Produção de Álcool Combustível no Estado de São Paulo. (Dissertação de Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRIGHENTI, C.R.F., Integração do Cogrador de Energia do Setor Sucroalcooleiro com o Sistema Elétrico, (Dissertação de Mestrado) Programa



Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

COELHO, S. T., Mecanismos para implementação da Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa – Um modelo para o Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ExternE, 1995: Externalities of Energy, Volume Three: Coal and Lignite, Commission of the European Communities, DGXII, Luxembourg.

ExternE, 1997: Externalities of Fuel Cycles “ExternE” Project Results of National Implementation. Draft Final Report, Commission of the European Communities, DGXII, Brussels.

ExternE, 1999: Externalities of Energy, Volume 7 : Methodology 1998 Update. M. Holland, J. Berry, D. Forster, (eds.), Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg.

FAAIJ, A, et ali., Externalities of Biomass Based Electricity Production Compared with Power Generation from Coal in the Netherlands. In: Biomass and Energy. V. 14, N. 2, pp. 125-147, 1998

FANG, J. M.; GALEN, P. S. (1994). Issues and Methods in Incorporating Environmental Externalities into the Integrated Resource Planning Process. 94 pp.; NREL Report No. TP-461-6684.

FURTADO, R.C. The Incorporation of Environmental Costs into Electric Power System Planning in Brazil. (Tese de Doutorado) Imperial College, Londres, 1996

ISO - International Organization for Standardization. ISO 14040: Life Cycle Assessment – Principles and Framework. European Committee for Standardization. Bruxelas. 1997.

MACEDO, I. C., Greenhouse gas emissions and bio-ethanol production/utilization in Brazil. Internal report CTC-05/97. pp. 3-14. Copersucar, São Paulo, 1997.



MÖLLERSTEN, K., YAN, J., MOREIRA, J. R., Potential market niches for biomass energy with CO<sub>2</sub> capture and storage, *Biomass & Bioenergy Journal*, 2002

MOREIRA, J.R., Global Renewable Energy Potential, Proceedings of the 3th. Workshop of Latin America Network on Biomass – LANMET, Brasília, Brasil, 2002

NOGUEIRA, L.A.H., Análise do Consumo de Energia na Produção de Alcool de Cana de Açúcar, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, 1987.

NORRIS, G.A. Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. *International Journal on Life Cycle Assessment*. 6 (2) p. 118 – 121. 2001.

OTTINGER, R.L. et al., Environmental Costs of Electricity. Pace University, Oceana Publ. 1991

PEARCE, D., BANN, C. AND GEORGIU, S. (1992), The social costs of fuel cycles, A report for the UK Department of Trade and Industry. HMSO, London.

SZARGUT, J., MORRIS, D. R., STEWARD, F. R. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes, Hemisphere Pub. Co., N.Y., 1988.

USDOE - United States of America; Department of Energy. Cost Estimating Guide. Capítulo 23: Life Cycle Cost Estimate. 1997.

WALTER, A.C.S., Viabilidade e Perspectivas da Co-geração e Geração Termelétrica no Setor Sucroalcooleiro, (Tese de Doutorado) UNICAMP, Campinas, 1994.

WALL, Göran. Conditions and tools in the design of energy conversion and management systems of a sustainable society. *Energy Conversion and Management* 43, pp. 1235 – 1248, 2002.