

## Inserção das externalidades no planejamento energético através do ACV e o ACC

*Lineu Belico dos Reis<sup>1</sup>*  
*Cláudio Elias Carvalho<sup>2</sup>*  
*Luiz Claudio Ribeiro Galvão<sup>3</sup>*  
*Miguel Edgar Morales Udaeta<sup>4</sup>*

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir aspectos conceituais e metodológicos de duas ferramentas que são a Avaliação dos Custos Completos (ACC) e Análise do Ciclo de Vida (ACV), no contexto da tomada de decisão dentro do planejamento energético.

O propósito de estudo dessas metodologias é compor um conjunto de ferramentas que integradas possam incorporar questões sócio-ambientais, tratadas como externalidades, de uma forma aplicável e efetiva, juntamente com os demais aspectos, sobretudo econômicos, pertinentes ao setor elétrico.

A utilização desse ferramental, aqui disponibilizado, propicia uma avaliação mais abrangente e real de custos e benefícios incorridos nas diversas alternativas a serem avaliadas num planejamento energético, indo de encontro à necessidade de se caminhar rumo à um desenvolvimento energético sustentável, sendo a sua aplicação totalmente coerente no âmbito do Planejamento Integrado de Recursos.

*1 Prof. Dr. Livre-Docente e coordenador do GEPEA (Grupo de Energia do Depto. de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP).*

*2 Engenheiro Eletricista e doutorando no Depto. de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP.*

*3 Prof. Dr. Titular da EPUSP.*

*4 Doutor em Engenharia na área de planejamento energético e pesquisador do GEPEA.*

### **1 - Os problemas ambientais e o setor energético**

A conexão entre o uso da energia e a degradação ambiental não é nenhuma surpresa. Existem inúmeros exemplos que mostram isso e quase sempre os maiores problemas se relacionam com o uso de combustíveis fósseis. A produção de eletricidade a partir dos combustíveis fósseis é a principal fonte de: óxidos de enxofre; óxidos de nitrogênio; dióxido de carbono; metano; monóxido de carbono e particulados. Sendo a produção de eletricidade responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária mundial e com tendências a expandir nas próximas décadas, fica evidente a necessidade de ações neste setor para a minimização dos impactos ambientais.

Os impactos podem ser classificados segundo uma escala geográfica como globais, regionais e locais, de acordo com os locais onde são gerados e alcance de seus efeitos. A tabela 1 mostra os principais impactos associados às atividades energéticas e agrupados segundo essa classificação.

Esses impactos, quando tratados no planejamento energético, podem ser chamados de externalidades. “Em relação aos recursos energéticos, subentende-se por externalidades ou impactos externos, como os impactos negativos ou positivos derivados de uma tecnologia de geração de energia

cujos custos não são incorporados ao preço da eletricidade e, conseqüentemente, não são repassados aos consumidores, sendo arcados por uma terceira parte ou pela sociedade como um todo.

As externalidades englobam ainda outros impactos, tais como sociais, políticos, macroeconômicos, etc. Os impactos mais relevantes e que afetam diretamente o ser humano são os impactos sobre a saúde humana e meio ambiente natural, além dos impactos globais como da camada de ozônio e efeito estufa” (SHECHTMAN, 1995).

As metodologias aqui apresentados buscam incorporar em algum grau essas externalidades, como comentado brevemente a seguir.

**Tabela 1 – Principais problemas ambientais-energéticos por escala**

<b>PROBLEMAS GLOBAIS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudanças no Clima Global</li> <li>• Depleção do Ozônio Estratosférico</li> <li>• Redução da Biodiversidade</li> </ul>
<b>PROBLEMAS REGIONAIS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradação e Uso da Água e do Solo</li> <li>• Contaminação oceânica</li> <li>• Mobilização de Contaminantes Tóxicos</li> <li>• Deposição ácida</li> <li>• Radioatividade e lixos radioativos</li> </ul>
<b>PROBLEMAS LOCAIS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição do ar urbano</li> <li>• Poluição do ar interno</li> <li>• Poluição de águas subterrâneas e de superfícies</li> <li>• Resíduos sólidos e perigosos</li> <li>• Campos eletromagnéticos</li> <li>• Saúde e segurança ocupacional</li> <li>• Acidentes de larga escala</li> <li>• Estética e outros aspectos (por ex. ruídos, perturbação visual)</li> </ul>

A ACC trata as externalidades como custos externos e procura então monetarizar, ou seja, avaliar em termos monetários esses impactos. No entanto, existem impactos externos monetarizáveis e não monetarizáveis. Dessa forma, a monetarização desses impactos dão origem aos chamados custos externos ao contrário dos custos internos que representam todos aqueles custos comumente considerados na avaliação de um determinado negócio.

O processo de incorporação das externalidades é chamado de internalização de custos. Os passos para internalização e métodos passíveis de utilização nas etapas do processo podem ser sumarizados como:

1. Caracterização dos Custos Externos (Potencial relativo; Consulta; Custo de Danos; Custo de controle);
2. Incorporação no Planejamento (Adicionais/ Descontos; Sistema de pontuação e classificação/ponderação; Monetarização);
3. Internalização dos Custos (Regulação; Taxas corretivas; Licenças/Permissões negociáveis).

A ACV, por sua vez, não produz resultados em termos de custos, sendo que seu objetivo é a avaliação comparativa de sistemas, sob o aspecto ambiental. Essas informações, quando incorporados no planejamento energético, pode então resultar em internalizações futuras.

## 2 - A avaliação dos custos completos (ACC)

### 2.1 - Definição e premissas

A ACC é um meio pelo qual considerações ambientais podem ser integradas nas decisões de um determinado negócio. Ela é uma ferramenta, a qual incorpora custos ambientais e custos internos, com dados de impactos externos e custos/benefícios de atividades sobre o meio-ambiente e na saúde humana. Nos casos onde os impactos não podem ser monetarizados, são usadas avaliações qualitativas.

A Avaliação dos Custos Completos, quando aplicada ao planejamento energético, está baseada em cinco premissas, das quais decorrem toda a metodologia de avaliação. Essas premissas são: 1) Consideração de recursos e usos de energia eficientes; 2) Impactos ambientais; 3) Impactos sociais; 4) Emprego de fontes de energia renováveis; 5) Integridade financeira.

### 2.2 - Elementos constituintes

A ACC consiste basicamente dos seguintes elementos:

#### *a) Inventário de Custos Internos Expandidos*

A ACC considera uma escala mais ampla de custos, incluindo certos custos e benefícios probabilísticos. Estes incluem quatro categorias de custos que são: Custos Diretos, Indiretos, de Contingência e Menos Tangíveis. No que se refere ao setor elétrico alguns exemplos dos custos internos mais comuns são mostrados na tabela 2.

#### *b) Horizonte de Tempo Expandido*

Em adição a um inventário de custos mais amplo, uma segunda característica da ACC é seu horizonte de tempo mais longo, variando de acordo com o tipo de empreendimento, devido a certos custos levarem muitos anos para se materializarem.

**Tabela 2 – Exemplo de inventário de custos**

<b>1. Custo Diretos</b>	<b>2. Custos Indiretos</b>
Gastos de capital Construções Aquisição de equipam. Projetos de engenharia Despesas de O&M Insumos e mão de obra Disposição	Permissões Relatórios Monitoramentos Manifestos Treinamentos Manuseio e estocagem de rejeitos
<b>3. Custos de Contingência</b>	<b>4. Custos Menos Tangíveis</b>
Penalidades Danos físicos/materiais Custos de procedimentos legais	Relações comunitárias Imagem da corporação Satisfação do cliente

#### *c) Indicadores Financeiros de Longo Prazo*

As ferramentas de avaliação de projeto devem atender no mínimo os seguintes critérios: 1) elas devem considerar todo fluxo de caixa (positivo e negativo) ao longo da vida do projeto; 2) elas devem considerar o valor do dinheiro no tempo (isto é, fluxos de caixa futuro descontado).

Os métodos mais comumente usados e que atendem esses dois critérios são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e Relação Custo/Benefício ou Índice de Lucratividade (IL).

#### ***d) Incorporação das Externalidades***

O que diferencia fundamentalmente a ACC de outras avaliações é, sem dúvida, a incorporação das externalidades no seu escopo de custos. Existe, no entanto, três passos a serem percorridos para a incorporação das externalidades que são: 1) Identificação e estimativa dos impactos sócio-ambientais; 2) Quantificação das externalidades; 3) Monetização das externalidades.

Muitas vezes apenas consegue-se atingir os passos 1 ou 2, sendo o terceiro de maior dificuldade metodológica e até mesmo política. Uma vez atingido o terceiro passo, pode-se então “internalizar” ou incorporar as externalidades aos custos, passando a ser então custos internos.

#### ***e) Alocação de Custos***

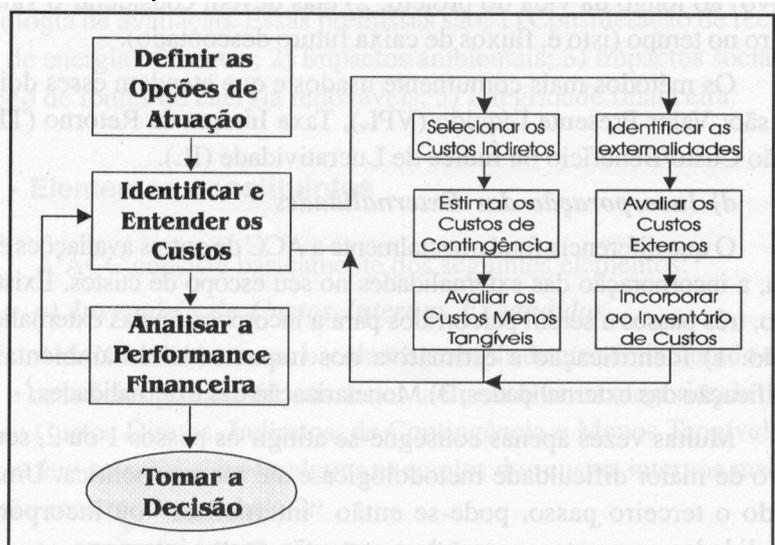
Para o propósito de análise de investimento, o sistema de avaliação de custos ideal deve ter duas características primárias. Primeiro, o sistema deveria alocar todos os custos para os processos os quais são responsáveis pela sua origem.

Segundo, não é suficiente simplesmente alocar os custos ao processo apropriado. Os custos deveriam ser alocados de maneira que refletisse o meio no qual os mesmos são realmente incorridos.

### **2.3 - Passos de análise**

Não há uma fórmula única para se realizar/executar uma ACC. Os passos básicos podem ser aplicados em muitas decisões de negócios de diferentes maneiras. A ACC é mais um complemento do que uma substituição de projetos de avaliação existentes, métodos de aproveitamento de capital, análise de gastos ambientais a sistemas de gerenciamento de custos já existentes em muitas organizações. Dessa forma, há quatro passos básicos na condução da ACC que ajudarão a reduzir a probabilidade de não notar-se uma real economia financeira ou atividade de um certo projeto. Esses passos são descritos sucintamente a seguir e apresentados na figura 1.

**Figura 1 – Passos básicos do processo de ACC**



#### ***a) Definir as Opções de Atuação***

Em muitos casos, sobretudo no setor energético, é necessário uma gama mais ampla de informações sobre custos relevantes para se tornar uma decisão adequada. Esse processo inclui então:

Determinar o escopo da ACC (isto é, o que será incluído na análise); Clarificar quais e como as opções atenderão os objetivos propostos; Identificar quais são os procedimentos internos necessários.

***b) Identificar e Entender os Custos***

Este passo envolve a identificação e compreensão de todos os custos envolvidos no projeto. Esse escopo de custos abraça tanto custos internos como externos e à medida que esse escopo se expande, tende-se a encontrar maior dificuldade para identificar e mensurar certos custos.

***c) Analisar o Desempenho Financeiro***

O processo de identificar e analisar custos é interativo. Assim, uma análise financeira mais ampla pode mudar a decisão de investimento. Deve-se usar para a análise financeira os indicadores apresentados anteriormente.

***d) Tomar a Decisão***

A tomada de decisão é a integração de todos os fatores que são relevantes para a viabilidade e lucratividade de uma oportunidade de investimento.

Alguns fatores podem ser monetarizados (por ex. cálculo do VPL). Outros podem ser quantificados mas não monetarizados (por ex. aumento percentual na participação de mercado). E, por fim, outros podem simplesmente ser identificados e caracterizados qualitativamente (por ex. espera-se mudanças futuras nas exigências regulatórias que poderão aumentar os custos regulatórios substancialmente).

Dessa forma, a tomada de decisão precisa considerar todas essas questões para escolher as opções corretas. Para isso, pode-se utilizar diversos métodos como análises multi-criteriais, tabelas múltiplas árvores de decisão e outros métodos de tomada de decisão.

### ***3 - A análise do ciclo de vida (ACV)***

#### **3.1 - Definição**

Segundo CONSOLI et al. (1993) e LINDFORDS (1995), a ACV pode ser definida como: “Um processo para avaliar a carga ambiental associada com um sistema ou atividade, através da identificação e descrição quantitativa da energia e materiais usados e resíduos lançados ao meio ambiente, além de avaliar os impactos do uso da energia e materiais e das liberações para o meio ambiente. A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto ou atividade, considerando a extração e processamento de matérias-primas; fabricação; distribuição; uso; re-uso; reciclagem e descarte final; e todos transportes envolvidos. A ACV dirige-se a impactos ambientais do sistema pelo estudo nas áreas de sistema ecológico, saúde humana e depleção de recursos. Ela não se dirige a efeitos econômicos ou sociais”.

#### **3.2 - Aplicações**

Dentre as aplicações e usos da ACV pode-se citar: Avaliação e Elaboração de Políticas; Educação Pública; Tomada de Decisão Interna; Revelação Pública de Informações.

No entanto, destaque maior se tem dado à ACV para as seguintes aplicações: Determinar o impacto ambiental total de produtos ou alternativas de projetos com o objetivo de compará-los; Determinar as causas mais importantes de um impacto ambiental de um produto.

#### **3.3 - Metodologia**

A ACV é composta basicamente por quatro fases, as quais são detalhadas a seguir:

### **A) Definição de Objetivos e Escopo**

A definição do objetivo e do escopo do estudo é uma etapa crítica de uma ACV devido a forte influência no resultado da análise. Segundo LINDFORDS (1995), as definições e decisões mínimas necessárias nessa fase são:

- O propósito e a intenção de aplicação;
- A função do sistema estudado e uma unidade funcional definida;
- O grupo do produto estudado e as alternativas escolhidas, se relevante;
- As fronteiras aplicadas ao sistema;
- A qualidade dos dados necessária;
- A avaliação ou processo crítico de revisão.

### **B) Análise de Inventário**

A Análise de Inventário é um processo objetivo, baseado em dados, para quantificar a energia e as matérias-primas requeridas, as emissões aéreas, os efluentes para a água, os resíduos sólidos e outras emissões ambientais incorridas durante o ciclo de vida de um processo, produto, atividade ou serviço.

Abaixo são relacionadas algumas características fundamentais da análise de inventário completa para um sistema energético são:

- a) Deve-se considerar os ciclos completos dos combustíveis (extração e conversão do combustível, produção de energia, manejo de resíduos);
- b) Todos os sistemas devem ser descritos na base “do berço ao túmulo”, sendo cada passo no ciclo decomposto nos processos de construção, operação e desativação (ver figura 4);
- c) Não só emissões diretas (concentradas) devem ser consideradas, mas também as indiretas, de forma a prover uma representação tão completa quanto possível dos fluxos ambientais;
- d) Um espectro amplo de recursos e de poluentes do ar e água deve ser considerado;
- e) As entradas de materiais e transporte devem ser consideradas em conexão com todos os passos do ciclo de vida;
- f) Um conjunto consistente de dados de produção de materiais, transporte, construção e serviços de descarte de lixo precisa ser levantado. Particular atenção deve ser dada a materiais usados em grandes quantidades (concreto, aço, alumínio) mas também deve-se ter cuidado com materiais usados em pequenas quantidades mas que tem associados a eles, alto potencial tóxico;

### **C) Avaliação de Impactos**

A Avaliação de Impactos pode ser expressa como um “processo quantitativo e/ou qualitativo que caracteriza e avalia os efeitos das intervenções (carga) ambientais identificadas na análise de inventário” (HEIJUNGS & HOFSTETTER,1996). A Avaliação de Impactos contém os seguintes elementos: Definição de categorias; Classificação; Caracterização; Avaliação/ Ponderação. A seguir esses elementos são comentados sucintamente.

A classificação é um passo qualitativo baseada na análise científica de processos ambientais relevantes, e tem que atribuir aos dados de entrada e saída do inventário os impactos ambientais potenciais, isto é as categorias de impactos.

A caracterização é principalmente um passo quantitativo baseado na análise científica dos processos ambientais relevantes. A caracterização tem que determinar a contribuição relativa de cada

entrada e saída para as categorias de impactos selecionadas. A contribuição potencial de cada entrada e saída para os impactos ambientais tem então que ser estimada.

“A ponderação busca classificar, pesar ou, se possível, agregar os resultados de diferentes categorias da avaliação de impactos no ciclo de vida de forma a obter a importância relativa desses diferentes resultados” (ISO,1997). É um passo qualitativo ou quantitativo não necessariamente baseada na ciência natural mas freqüentemente baseada em valores políticos ou éticos.

#### **D) Interpretação**

“A Interpretação na ACV é um procedimento sistemático para identificar, qualificar, checar e avaliar as informações das conclusões da análise de inventário e/ou avaliação de impactos de um sistema, e apresentá-los de forma a atender as exigências da aplicação como descrito nos objetivos e escopo do estudo.

A Interpretação também é um processo de comunicação desenvolvido para dar credibilidade aos resultados das fases mais técnicas da ACV, chamadas de análise de inventário e avaliação de impactos, de forma que ambos sejam compreensíveis e úteis para o tomador de decisão” (ISO,1997). A Interpretação é realizada em interação com as outras três fases da ACV.

#### ***4 - A relação entre a ACC, ACV e o planejamento energético***

Quando se pensa na implementação prática dessas duas ferramentas no planejamento, as questões relevantes que decorrem disso é a integração na decisão de diferentes aspectos (econômicos, ambientais e sociais) que podem ser de natureza quantitativa ou qualitativa e em função disso, mais especificamente na ACC, o tratamento dos custos decorrentes desses aspectos.

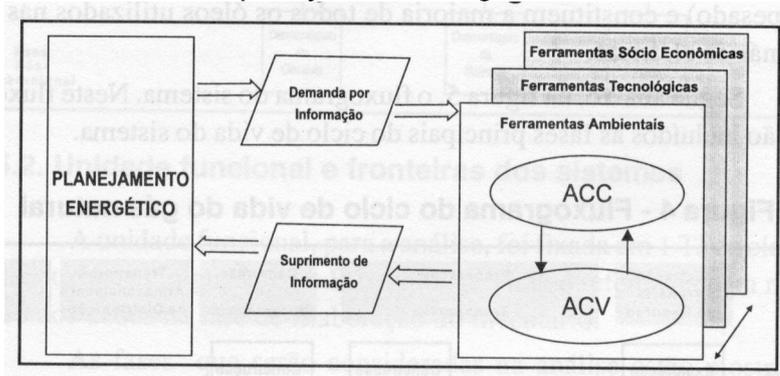
Os resultados podem ser quantitativos ou qualitativos. A ACV, por exemplo, fornece escores ambientais que podem ser incorporados na avaliação. No entanto, o próprio inventário do ciclo de vida fornece dados suficientes para se tentar a monetarização daqueles custos identificados na ACC.

A integração de todas essas informações pode ser feita de diversas formas, como por exemplo, através das tabelas de Múltipla Avaliação, Funções Multi-Criteriais, entre outras.

De uma forma geral, pode-se ilustrar os inter-relacionamentos existentes entre o PE, a ACV e a ACC através da figura 3. Note que inicialmente é necessário ter um motivo e um objetivo para se fazer um determinado planejamento. A partir daí, surge então uma demanda grande por informações de diversas naturezas (tecnológicas, sócio-econômicas, ambientais, políticas, etc.).

Essa demanda pela informação, por sua vez, pode ser suprida pelo uso de um conjunto de ferramentas que integradas atendem às questões levantadas no planejamento. Esse é, então, um processo interativo. A ACV e ACC constituem assim ferramentas que se complementam para suprir de informações o planejamento energético.

**Figura 3 – Relações entre a ACC, ACV e planejamento energético**



## 5 - Estudo de caso

Este estudo tem por objetivo a comparação, sob o aspecto ambiental, de dois combustíveis a saber, gás natural e óleo combustível, usados para geração de energia elétrica. O nível de sofisticação pretendido é uma análise simplificada, usando dados gerais de literatura especializada, focando-se nos estágios mais importantes do ciclo de vida

### 5.1 - Ciclos de vida

#### A) Gás Natural

O gás natural é uma mistura de gases de hidrocarbonetos e não-hidrocarbonetos encontrados em formações geológicas porosas sob a superfície da terra. O principal componente da gás natural é o metano (CH<sub>4</sub>) que representa em geral entre 70% e 95% da mistura de gases. O combustível pode estar na forma gasosa ou líquida.

Abaixo é apresentado na figura 4 esquematicamente o fluxograma do sistema. Neste fluxograma estão incluídos as fases principais do ciclo de vida do sistema.

#### B) Óleo Combustível

O petróleo ou óleo cru, é a fonte de vários óleos combustíveis usados como fontes energéticas para a geração de energia elétrica.

Muitos dos óleos usados para a geração de energia são previamente refinados. Óleos combustíveis típicos incluem óleos números 4, 5 e 6 (óleo pesado) e constituem a maioria de todos os óleos utilizados nas concessionárias elétricas.

Segue abaixo, na figura 5, o fluxograma do sistema. Neste fluxograma estão incluídos as fases principais do ciclo de vida do sistema.

Figura 4 – Fluxograma do ciclo de vida do gás natural

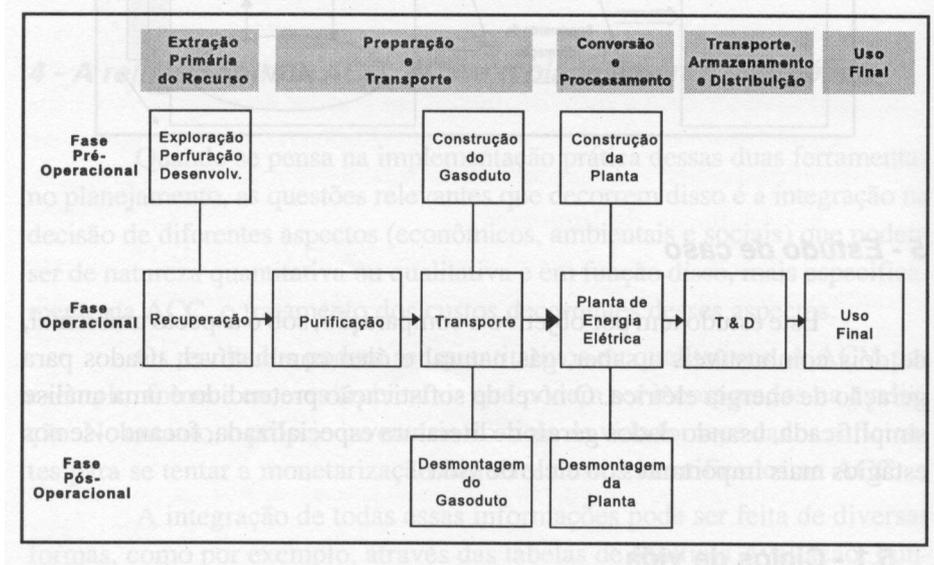
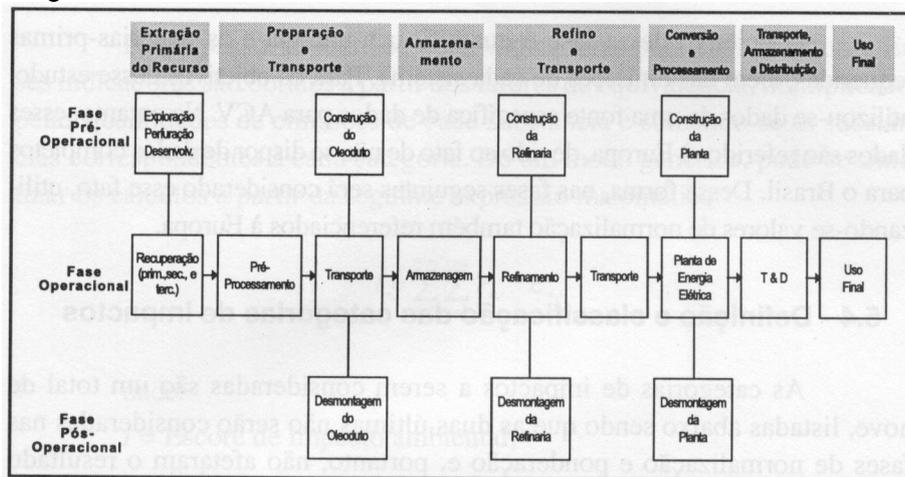


Figura 5 – Fluxograma do ciclo de vida do óleo combustível



## 5.2. Unidade funcional e fronteiras dos sistemas

A unidade funcional, para a análise, foi fixada em 1 TJ de eletricidade produzida, entregue à rede. Este valor servirá de referência para normalização dos dados na fase de Elaboração do inventário.

As fases que serão consideradas na análise estão mostradas na figura 6, abaixo.

Figura 6 – Fronteiras dos sistemas

	Extração Primária do Recurso	Preparação	Armazen.	Transporte	Conversão e Processam.	Transporte Armazen. e Distribuição	Uso Final
Fase Pré-Operacional				○	○		
Fase Operacional							
Fase Pós-Operacional	○			○	○		

- (1) As etapas definidas pela análise abrangem desde a extração do recurso até a conversão e processamento;
- (2) Os retângulos hachurados indicam as fases a serem consideradas no inventário;
- (3) Os retângulos com círculos indicam as fases que, embora existam nos sistemas, estão sendo omitidas nesta análise.

### 5.3 - Análise de inventário

O objetivo dessa fase é quantificar a energia e as matérias-primas requeridas, além das emissões de cada sistema. Para os objetivos desse estudo, utilizou-se dados de uma fonte específica de dados para ACV. No entanto, esses dados são referidos à Europa, devido ao fato de não se dispor de dados completos para o Brasil. Dessa forma, nas fases seguintes será considerado esse fato, utilizando-se valores de normalização também referenciados à Europa.

### 5.4 - Definição e classificação das categorias de impactos

As categorias de impactos a serem consideradas são um total de nove, listadas abaixo sendo que as duas últimas não serão consideradas nas fases de normalização e ponderação e, portanto, não afetaram o resultado final. Elas constam numa primeira análise apenas para identificar o uso de energia em cada ciclo considerado bem como a quantidade de sólidos lançados ao meio ambiente.

Essas são também as categorias que englobam as emissões e impactos mais significativos dos dois sistemas, o que permite assim uma boa comparação entre os mesmos. Na tabela 3 é apresentada a classificação das categorias de impactos selecionadas para o estudo de caso.

**Tabela 3 – Classificação das categorias de impactos selecionadas**

Categoria de Impactos	Escala
Efeito estufa	Global
Camada de ozônio	Global, continental, regional, global
Acidificação	Continental, regional, local
"Smog"	Continental, regional, local
Metais pesados	Regional, local
Eutrofização	Continental, regional, local
Carcinogênese	Local
Energia	
Sólidos	

### 5.5 - Caracterização

Neste passo, procura-se obter indicadores para cada categoria. Esses indicadores são obtidos a partir dos fatores de equivalência, multiplicados pelas quantidades de emissões de cada substância e somando-se as substâncias correspondentes a cada categoria. De um modo genérico, pode-se sintetizar os cálculos a partir da seguinte expressão matemática:

$$I = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{x=1}^{x=n} P_{x,1} * E_{x,i}$$

onde:

$I$  = Escore de impacto ambiental;

$x$  = Substância;

$i$  = meio (ar, água, solo)

$P_{x,i}$  = Potencial para x no meio i;

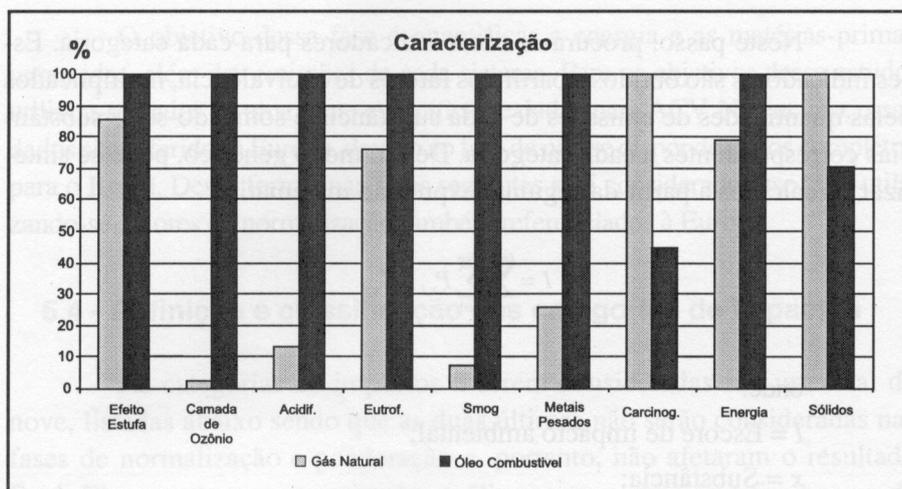
$E_{x,i}$  = Emissão de x no meio i

Os resultados desses cálculos são apresentados na tabelas 4 e figura 7.

Tabela 4 – Potenciais calculados para cada problema ambiental

Problema Ambiental	Unidade	Potenciais Calculados	
		Gás Natural	Óleo Combustível
Efeito Estufa	kg CO2-eq/ano	2,09E+05	2,44E+05
Camada de Ozônio	kg CFC11-eq/ano	7,01E-03	2,87E-01
Acidificação	kg SO4-eq/ano	3,87E+02	2,92E+03
Eutrofização	kg PO4-eq	5,61E+01	7,39E+01
Smog	KgPOCP-eq/ano	2,14E+01	3,02E+02
Metais Pesados	KgPB-eq/ano	6,38E-01	2,47E+00
Carcinogênese	KgB(a)P-eq/ano	2,64E-02	1,18E-02
Energia	MJ/ano	2,71E+06	3,44E+06
Sólidos	KgHC-eq/ano	7,96E+03	5,61E+03

Figura 7 – Resultados da etapa de caracterização



## 5.6 - Normalização e ponderação

Embora a figura 7 dê uma idéia de como as opções se comportam em relação aos impactos, os valores não são diretamente comparáveis. Deve-se então proceder à normalização e depois à ponderação.

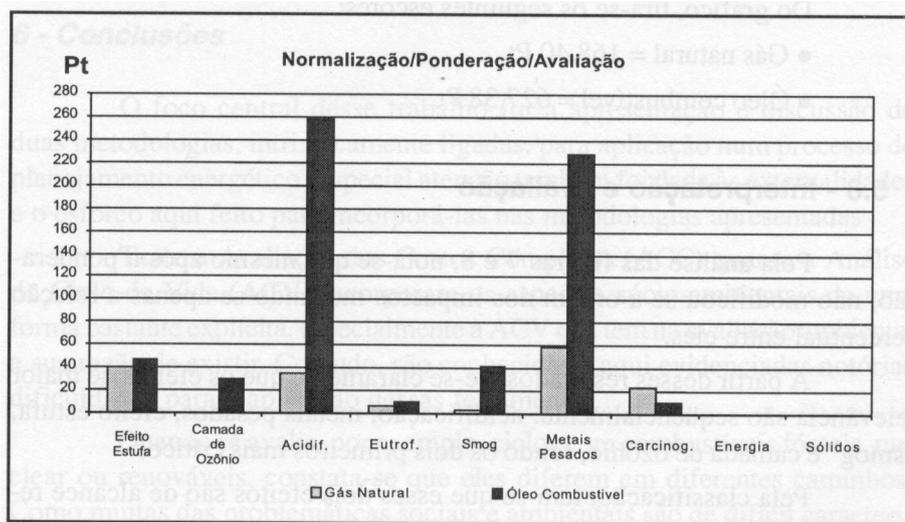
Como valores de normalização, decidiu-se adotar um valor médio que cada indivíduo europeu contribui para o problema ambiental específico no período de um ano. A escolha desse valor se deu pelo fato do inventário estar referindo-se à região da Europa e também pela falta de índices nacionais apropriados, o que pode ser motivo de estudos futuros.

Para a ponderação, utilizou-se os valores do método Eco-Indicator 95, apresentados na tabela 5, juntamente com os valores de normalização. Os resultados são mostrados na figura 8.

Tabela 5 – Valores de normalização e ponderação utilizados

Problema Ambiental	Normalização		Valor de Ponderação
	Unidade	Emissões por Indivíduo Europeu	
Efeito Estufa	KgCO2-eq/ano	13.072	2,5
Camada de Ozônio	KgCFC11-eq/ano	0.926	100
Acidificação	KgSO2-eq/ano	112,6	10
Eutrofização	KgPO4-eq/ano	38,2	5
Metais Pesados	KgPb-eq/ano	0,0543	5
Carcinogênese	KgB(a)P-eq/ano	0,0109	10
Smog	KgPOCP-eq/ano	17,9	2,5
Energia	MJ/ano	158.982	0
Sólidos	KgHC-eq/ano	--	0

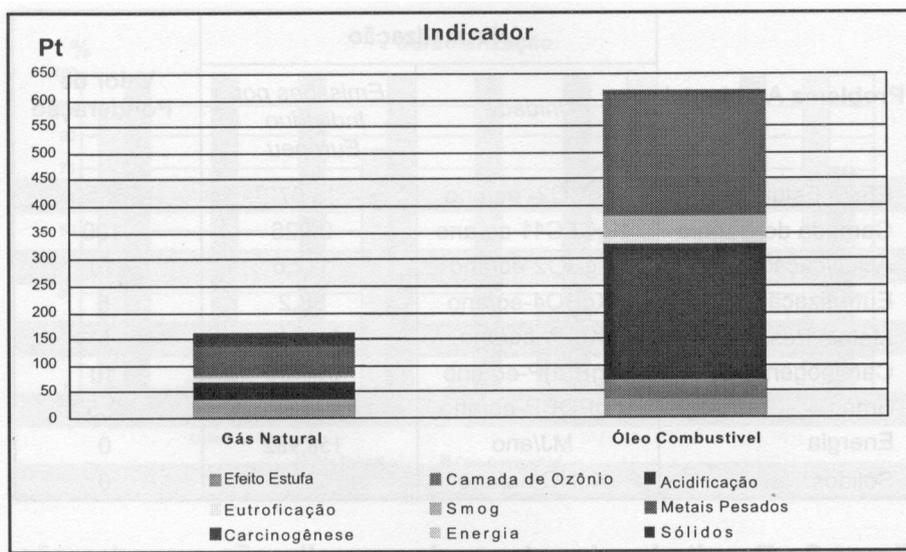
Figura 8 – Resultados das etapas de normalização e ponderação



## 5.7 – Resultados

Uma vez, estando todos os valores referenciados numa mesma base e unidade, pode-se então somar os escores parciais de cada opção (que são os escores para cada efeito), obtendo um escore total, de onde pode-se comparar direta e claramente as duas opções em estudo. O resultado final é mostrado na figura 9.

**Figura 9 – Resultados do eco-indicador**



Do gráfico, tira-se os seguintes escores:

Gás natural = 168,40 Pt.

Óleo combustível = 627,38 Pt.

### 5.8 - Interpretação e avaliação

Pela análise das figuras 7 e 8, nota-se que mesmo após a ponderação, não modificou-se a ordem dos impactos mudando-se apenas a relação percentual entre eles.

A partir desses resultados, vê-se claramente que os efeitos de maior relevância são seqüencialmente: acidificação, metais pesados, efeito estufa, “smog” e camada de ozônio, sendo os dois primeiros mais críticos.

Pela classificação, tem-se que esses dois efeitos são de alcance regional e local, podendo chegar a ser continental no caso da acidificação.

Isso leva à conclusão que a utilização desses recursos tem conseqüência principalmente no âmbito local e regional, embora contribua em menor importância para problemas globais.

No passo de normalização é possível notar a grande importância também do efeito estufa, confirmando a questão da contribuição dos combustíveis fósseis para esse impacto.

Vale ressaltar, no entanto, que quanto à consistência, deve-se lembrar que o estudo foi feito com dados referidos à Europa. Para uma generalização, seria preciso levar em conta as diferenças regionais, políticas e econômicas, sociais, etc.

Seria mais apropriado um inventário para as condições próprias de nosso país, além de índices de normalização nacionais, o que segundo HOFFMANN et. al. (1999) em seu estudo mostra que esses índices tem uma relação direta com o PNB/per capita (PNB = Produto Nacional Bruto), podendo-se assim transladar os índices de algumas regiões já conhecidas para outras. Isso poderia ser feito, por exemplo, em estudos futuros nesse tema.

Pelos resultados obtidos, fica claro a diferença de desempenho ambiental dos dois energéticos em estudo, mostrando uma vantagem grande no uso do gás natural como fonte de geração de energia face ao óleo combustível.

Dessa forma, recomenda-se o uso preferencial, do ponto de vista ambiental, do gás natural frente ao óleo combustível, principalmente em lugares que apresentam maiores problemas em relação à acidificação, acúmulo de metais pesados e “smog”.

## **6 - Conclusões**

O foco central desse trabalho foi a apresentação e discussão de duas metodologias, intrinsecamente ligadas, para aplicação num processo de planejamento energético. Especial atenção também foi dada às externalidades e o esforço aqui feito para incorporá-las nas metodologias apresentadas.

Tanto a Avaliação dos Custos Completos (ACC) quanto a Análise do Ciclo de Vida (ACV) incorporam os aspectos sócio-ambientais de uma forma bastante explícita, especialmente a ACV que tem na avaliação ambiental a sua razão de existir. Contudo, são conhecidas e aqui evidenciadas notórias dificuldades para a aplicação dessas ferramentas.

Quando se avalia, por exemplo, ciclos com combustíveis fósseis, nuclear ou renováveis, constata-se que eles diferem em diferentes caminhos. Como muitas das problemáticas sociais e ambientais são de difícil caracterização e quantificação, as comparações diretas entre os ciclos tornam-se muito difíceis e, às vezes, impraticável.

Outra questão que afeta a aplicação efetiva das ferramentas ora apresentadas relaciona-se aos efeitos e impactos. Para muitos efeitos de longo prazo, os impactos são muito dependentes do cenário considerado. No entanto, nossos conhecimentos com relação ao futuro são muito incertos para permitir estimativas seguras de danos causados para cada um dos casos.

Essas estimativas também são bastante dependentes dos efeitos do tempo, seja quanto ao real valor dos benefícios ou vantagens ambientais ao longo do tempo ou mesmo quanto à taxa de desconto, que depende diretamente de fatores econômicos. Em função disso, pode-se concluir que são necessários métodos mais aperfeiçoados para introduzir as incertezas inerentes nesse processo.

No que tange à questão da monetarização, sugerida pela ACC, pode-se dizer que o modelamento de um processo metodológico permite, de fato, alguns avanços na quantificação. No entanto, em alguns casos (notadamente, nos casos do aquecimento global, impactos nos ecossistemas, acidentes ecológicos, etc.), avaliações monetárias seguras não são objetivos realistas a curto prazo.

Neste sentido, a adoção única da ACC não garante, por si só, total confiabilidade em termos de incorporação dos aspectos sócio-ambientais na tomada de decisão. Visto ser a questão da sustentabilidade uma das maiores preocupações da política ambiental, essas questões ainda são capturadas monetariamente com bastante deficiência.

Surge assim, um amplo espaço a ser preenchido na temática do suprimento de informações, nesse caso, ambientais. A ACV se apresenta então como uma poderosa ferramenta para auxiliar na comparação de efeitos dos diferentes ciclos energéticos sob a ótica da sustentabilidade.

Como evidenciado no estudo de caso feito com a aplicação da ACV, conclui-se que a sua utilização pode fornecer subsídios concretos para suportar uma tomada de decisão que considere efetivamente os aspectos ambientais.

Finalmente, embora a adoção e aplicação de novas ferramentas/metodologias dentro do planejamento energético seja uma decisão influenciada fortemente por questões políticas, no âmbito do Planejamento Integrado de Recursos (que ainda caminha lentamente em nosso país), essas ferramentas são passíveis de serem utilizadas.

## 7 - Referências bibliográficas

- CARVALHO, C.E.; REIS, L.B.; UDAETA, M.E.M.. A Avaliação dos Custos Completos na Avaliação dentro do Planejamento Energético. In: **Revista Brasileira de Energia**. Volume VI, número 1, 1999.
- CARVALHO, C.E.; REIS, L.B.; UDAETA, M.E.M.. Inserção dos Custos Completos através de um Estudo de Caso. In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia**. Anais. Rio de Janeiro. Dezembro, 1999.
- GALVÃO, L.C.R.; REIS, L.B.; UDAETA, M.E.M., **Fundamentos para o Planejamento Integrado de Recursos numa Região de Governo do Estado de São Paulo apontando a Energia Elétrica**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996, Rio de Janeiro.
- GIMENES, A.L.V.; REIS, L.B.; GALVÃO, L.C.R.; UDAETA, M.E.M. **O Gerenciamento pelo Lado da Demanda como Recurso Energético para a Região do Médio Paranapanema - MPP**. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia. Anais. Rio de Janeiro. Dezembro, 1999.
- REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. Ed.1. Edusp, São Paulo, 2000.
- ISO. **Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework**. ISO/FDIS 14040, 1997a.
- ISO. **Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis**. ISO/DIS 14041.2, 1997b.
- ISO. **Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life cycle impact assessment**. ISO/CD 14042.1, 1997.01.15.
- ISO. **Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation**. ISO/CD 14043.IB, 1997.06.17.
- ISO. **ISO/TC 207/SC 6 comments and proposals regarding definitions of terms used by ISO/TC 207/sc3**. ISO Document ISO/TC 207/SC 6 N 103.
- SHECHTMAN, R. **Metodologia para avaliação dos custos ambientais da geração termelétrica a carvão**. In: XII SNPTEE, Florianópolis, Outubro, 1995.
- OTTINGER, R., WOOLEY, D., ROBINSON, R., HODAS, D., BABB, S., **Environmental Costs of Electricity**. Dobbs Ferry, N.Y., Oceana Publications, 1990.
- FULL COST ACCOUNTING FOR DECISION MAKING AT OUTARIO HYDRO. **Environmental Accounting Case Studies**. Washington, D.C., May, 1996.
- HEIJUNGS R.; HOFSTETTER, P. Part II: Definitions of terms and symbols. In: Udo de Haes. **Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) – Brussels, Europe, 1996.
- COWELL, S.; HOGAN, S.; CLIFT, R. Positioning and application of LCA. LCANET theme report. In: **Life Cycle Assessment: state-of-the-art and research priorities**, Udo de Haes and Wrisberg. LCA Documents, Vol.1, 1997.
- GOEDKOOP, M. **The Eco-indicator 95**, Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 1995.
- HOFFMANN, L.; STRANDDORF, H. K. **Estimate for na Average World Citizen Contribution to Regional and Local Impacts**. Leiden, Setembro, 1999.
- THE SUSTAINABILITY VENTURES GROUP Inc., PLANIT MANAGEMENT Inc. **Total Cost Assessment Guidelines – Assessing the Business cCase of Environmental Investments**. Draft, Junho, 1997.
- UDAETA, M.E.M., **Planejamento integrado de recursos - PIR para o Setor Elétrico** (pensando o Desenvolvimento Sustentável). São Paulo, 1997. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.