

## MODELOS DE AVALIAÇÃO PARA ANÁLISE DA INSERÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA NA ESTRUTURA DE GERAÇÃO ELÉTRICA

**José Antônio Perrella Balestieri**

UNESP – Campus de Guaratinguetá – Dep. de Energia., C.P. 205 – 12516-410 – Guaratinguetá – SP  
[perrella@feg.unesp.br](mailto:perrella@feg.unesp.br)

**Sergio Colle**

UFSC – Dep. de Engenharia Mecânica – C.P. 476 – 88040-090 – Florianópolis – SC  
[colle@emc.ufsc.br](mailto:colle@emc.ufsc.br)

**Resumo.** *A crise de oferta de energia, evidenciada no início deste século, aponta para a necessidade de se ampliarem as bases de geração elétrica pela inserção de novas tecnologias, as quais muitas vezes são preteridas numa análise de custo e benefício pelo fato de a modelagem empregada não garantir condições adequadas para uma competição entre as novas tecnologias e aquelas já estabelecidas. Diversas tecnologias hoje disponíveis, algumas com mais avançado estágio de desenvolvimento que outras, como geradores eólicos, células fotovoltaicas e de combustível, não encontram espaço para penetração na estrutura de geração de energia elétrica porque as características dos modelos de custo atualmente empregados penalizam seus elevados custos de investimento sem considerar pontos favoráveis, como as características ambientalmente desejáveis e a elevada eficiência. Nesse contexto, diversas metodologias baseadas em novas abordagens de avaliação têm sido propostas visando-se reduzir as barreiras até então impostas. O presente artigo apresenta os principais modelos de avaliação publicados em literatura, buscando identificar suas características e as condições nas quais poderão ser favoravelmente empregados na análise de sistemas de geração elétrica.*

**Palavras chave:** Modelos logísticos, modelos econométricos, modelos de portfólio, geração de energia, fontes alternativas.

### 1. Introdução

A percepção de que novas formas de geração podem vir a contribuir na expansão dos sistemas existentes de geração de energia esbarra em algumas dificuldades, e a primeira e talvez mais significativa delas seja o fato de muitas dessas novas tecnologias apresentam características singulares e distintas daquelas. Em face dessa situação, é natural que novas formas de avaliação sejam estabelecidas. Os modelos de engenharia econômica são basicamente compostos de técnicas que procuram trazer para uma certa data todos os valores monetários em questão numa certa análise, de modo a que se verifique a maior ou menor disposição de se investir em certo empreendimento. Desde que sejam tomados os devidos cuidados de uniformidade nas considerações, todos os métodos de análise econômica devem resultar em iguais valores, sendo eles o Método do Valor Presente Líquido; o Método do Valor Futuro Líquido; o Método do Valor Uniforme Líquido; o Método do Benefício-Custo; o Método da Taxa de Retorno; e o Método do Prazo de Retorno.

É importante sinalizar acerca do emprego de alguns dos métodos que:

- o método do valor presente líquido carrega todos os custos e todos os retornos financeiros para a chamada “data zero”, o início do projeto, ao passo que o método do valor futuro líquido o faz para a “data última” da escala temporal, possibilitando-se saber ao começo ou ao fim do tempo considerado se o valor naquele ponto é positivo (e atrativo) ou negativo;
- o método do valor uniforme líquido transforma custos e retornos financeiros numa série uniforme ao longo do tempo, que tanto pode ser positiva quanto negativa;
- o método da taxa de retorno consiste em obter-se o valor da taxa de juros que iguala a série de custos e de retornos financeiros, de modo a que se possa compara-la à taxa praticada no mercado para a decisão.

Awerbuch *et al.* (1996), numa análise acerca das condições pelas quais as novas tecnologias podem vir a ser consideradas na expansão da capacidade de geração dos sistemas existentes, assinalam que a metodologia tradicionalmente aceita pelo setor energético, a “técnica de necessidades de receitas” (*Revenues Requirements Method* (RRM), definido como as receitas esperadas que irão prover um mínimo aceitável de retorno do investimento aos investidores - pp. 195.) , assume um conjunto de condições estratégicas, operacionais e financeiras que incluem:

- regulação perfeita e monopólio estrito;
- equivalência de geração independentemente da tecnologia empregada;
- riscos financeiros similares para todas as tecnologias, isto é, a escolha da tecnologia não afeta o custo de capital da empresa;
- recuperação do capital garantida para qualquer expansão de capacidade.

As necessidades de receita para alternativas competitivas de projeto seriam, então, comparadas e sob condições ideais o projeto com menor necessidade de receitas seria considerado aceitável, uma vez que seria consistente com os princípios aceitos de se assegurar suprimento de eletricidade com o menor preço possível com a garantia de um adequado retorno aos investidores. De acordo com Awerbuch (2000), os modelos de engenharia econômica funcionam razoavelmente bem sob as seguintes condições restritivas gerais quando é possível:

- modelar o projeto em termos de fluxos de caixa;
- assumir que escolhas tecnológicas homogêneas estão acopladas a um ambiente de tecnologia estática<sup>1</sup>.

Numa abordagem anterior, Awerbuch *et al.* (1996) argumentavam que as técnicas tradicionais de avaliação econômica foram desenvolvidas a partir de tecnologias de geração e de manufatura com as seguintes características:

- elas seriam ativas, com uma clara distinção entre os períodos em que os equipamentos estariam em condição operacional plena, fora de uso ou em manutenção, permitindo a eliminação virtual dos custos dos componentes em estado não operacional;
- elas seriam intensivas em custos, sendo esses compostos principalmente de custos diretos de ordem operacional, de mais fácil alocação e computação por sistemas contábeis se comparados aos custos fixos;
- elas teriam durabilidade finita, ou seja, cada dia de operação a levaria para uma condição mais próxima de um estado não operacional por força de manutenção ou substituição de componentes;
- elas seriam marcadas por taxas de progresso tecnológico relativamente baixas, o que implicaria em uma reduzida preocupação com substituição tecnológica por obsolescência.

De acordo com esse pensamento, em um ambiente de baixo progresso tecnológico o processo de decisão para que se instalem novos componentes é simplificado pelo fato de ser entendido como razoavelmente bem suportado por informações contábeis, ou seja, uma nova máquina apenas será instalada se seus custos totais (de investimento e operacionais) forem menores que os custos operacionais da máquina existente, pela expectativa de que os custos de manutenção e talvez os custos diretos do trabalho serão reduzidos quando um equipamento antigo for descartado. Nesse sentido, os novos processos tecnológicos apresentariam atributos que diferem dos seus predecessores:

- são freqüentemente passivos, ou seja, há uma pequena distinção entre os estados de funcionamento e não operacional, daí o fato de os custos nessas situações serem virtualmente os mesmos;
- são intensivos em capital;
- as novas tecnologias possuem durabilidade essencialmente infinita – usar ou não esses processos contribui pouco para a redução de sua vida útil. Isto porque, com a rapidez das mudanças tecnológicas, os processos e/ou sistemas se tornam obsoletos anteriormente à sua retirada de operação.

Posto isso, evidencia-se a dificuldade de os modelos tradicionais facultarem a entrada das novas tecnologias: os custos de investimento para a expansão de capacidade, pelos métodos tradicionais de engenharia econômica, geralmente incluem componente adicional (*overhead*), geralmente alocado como um percentual dos custos de construção do projeto para cobrir despesas de engenharia, modificações no projeto, administração da obra, contingências do projeto, dentre outras, e que pode chegar a 50% (Porter e Mastanaiah, 1982); entretanto, a aplicação mecânica dessa prática a todos os projetos, indistintamente, atribui erros aos custos por não considerar que diferentes tecnologias alocam tais custos adicionais de formas diferenciadas.

Dessa forma, tecnologias que normalmente se vêm em face de condições que envolvem custos adicionais, como as formas tradicionais de geração termelétrica a carvão e nucleares, são menos prejudicadas pelo seu emprego comparativamente a tecnologias ainda alternativas como, por exemplo, a geração fotovoltaica. Uma outra questão bastante pertinente e defendida por diversos autores diz respeito à necessidade de que sejam estabelecidos critérios de risco para a avaliação das diferentes tecnologias concorrentes, o que não é comum nos modelos de avaliação econômica tradicionais. No item a seguir serão desenvolvidas formulações encontradas em literatura relativamente à avaliação de sistemas energéticos em base comparativa, numa abordagem de amplo espectro.

## 2. Modelos de avaliação comparativa de tecnologias

De modo diverso a outros campos do conhecimento, as mudanças fundamentais nos na área energética ocorrem de modo lento; do ponto de vista das fontes primárias, por exemplo, a mudança da lenha pelo carvão, após seu largo emprego, marca o advento da máquina a vapor, do aço e das estradas de ferro na Revolução Industrial, em fins do século XIX, sendo que a penetração do óleo e do gás se deu ao longo do século XX. Entretanto, há nichos tecnológicos no campo do conhecimento energético que se comportam de modo mais dinâmico, como o que diz respeito à evolução de tecnologias de uso final.

A análise de previsão de longo prazo para suprimento energético deve considerar o emprego de cenários alternativos que estabeleçam panoramas futuros incertos. Para Gritsevkiy e Nakicenovic (2000), uma das mais importantes motivações de se desenvolverem estudos de avaliação tecnológica e incertezas em cenários de sistemas de suprimento energético é capturar as diferentes direções de possíveis mudanças tecnológicas como resultado de melhorias e trocas de tecnologias. A avaliação comparativa de tecnologias para o estabelecimento de um *ranking* entre tecnologias, em cenário prospectivo pautado em incertezas diversas, e que deve contemplar a inclusão de novas

<sup>1</sup> Tecnologia homogênea é aquela em que o risco não é dependente da escolha tecnológica; a tecnologia estática sugere um futuro previsível, no qual opções estratégicas e gerenciais apresentam pouco valor (Awerbuch, 2000, pp. 1024).

vertentes tecnológicas, está baseada na competição entre o conjunto de sistemas considerado e deve ser feita de modo a possibilitar a substituição entre elas, isto é, não devem existir em princípio nichos ou reservas para certas tecnologias.

O estudo de modelos de substituição tecnológica permanece, ainda hoje, como um campo de pesquisa ainda carente de maior exploração. Gritsevki e Nakicenovic (2000) argumentam que *‘a despeito da importância fundamental da aprendizagem tecnológica, a modelagem desses processos não tem recebido a necessária atenção na literatura. Várias razões podem explicar esta aparente falta de tratamento sistemático, dentre elas a complexidade de modelos apropriados é talvez a mais crítica’*. Completam seus pensamentos argumentando que o tratamento de incertezas associadas à questão da substituição tecnológica impõe restrições de ordem tanto computacional (leia-se esforço computacional) quanto metodológica, na medida em que crescem as não-convexidades do problema e as técnicas convencionais de otimização passam a não mais serem adequadas<sup>2</sup>.

## 2.1. Modelos de função logística

Num trabalho de resgate histórico dos caminhos trilhados pela modelagem de substituição tecnológica, registram-se os artigos de Griliches (1957) e Mansfield (1961), que demonstraram que os parâmetros de difusão dependem de fatores econômicos (dentre outros, obviamente) e o de Hausman (1979), pelo qual a modelagem energética passou a considerar os modelos logísticos para escolhas tecnológicas.

Em geral, o processo de substituição pode ser bem modelado pelo emprego das curvas logísticas em formato de S (*S-shaped curves*), cujo comportamento pode ser assim explicado (Reddy, 1996): o processo de substituição se inicia de forma lenta até que sejam superados os problemas e as resistências iniciais, quando então o processo ocorre de forma mais rápida até que a competição entre a velha e a nova tecnologia se torne mais forte e a nova tecnologia se torne mais vantajosa, e finalmente esta se aproxima da saturação e inicia um processo de declínio, ao mesmo tempo em que outra tecnologia ganha aceitação, principalmente pelo fato de ser mais eficiente, e o processo se reinicia (Fig. 1). Após uma fase de grandes investimentos iniciais em Pesquisa e Desenvolvimento e um mercado incipiente, o custo marginal de uma certa tecnologia se reduz de modo sistemático e, assim, quanto mais largamente adotada, mais barata a mesma se torna, e pela redução das incertezas, menores riscos são associados à sua adoção; por outro lado, quanto mais uma tecnologia é empregada tão mais ela tende a eliminar outras possibilidades (Gritsevki e Nakicenovic, 2000).

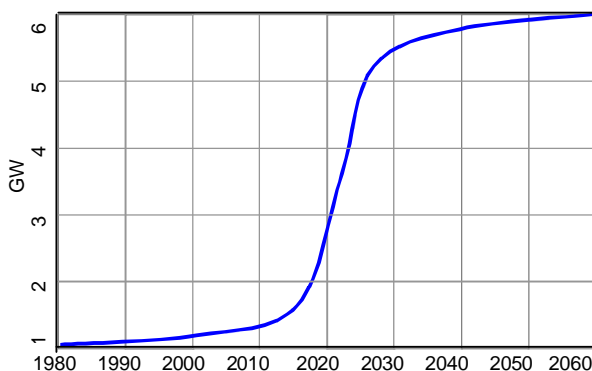


Figura 1. Curva logística (*S-shaped curve*) para modelagem de substituição tecnológica

Dois modelos que têm nas curvas logísticas suas bases para a avaliação comparativa de tecnologias competitivas serão, então, a seguir apresentadas:

### 2.1.1. Modelo de Lotka-Volterra

O modelo de Lotka-Volterra foi originalmente desenvolvido buscando descrever processos competitivos no campo biológico (modelo presa-predador); o desenvolvimento aqui apresentado é devido a Reddy (1996), que o considerou em seu estudo para a avaliação competitiva entre energéticos empregados para cocção (lenha, querosene, eletricidade, dentre outras) através de seus correspondentes equipamentos. A Tab. 1 ilustra a correspondência entre o modelo tradicional de Lotka-Volterra e o proposto pelo autor, assim como identifica as variáveis consideradas.

Nesse estudo, a variação de  $x_1$  e  $x_2$  se dá em relação à renda (I), ao invés de se dar em relação ao tempo (t), visto ser a primeira mais relevante para a decisão acerca do modelo de substituição tecnológica para comparação entre diferentes fogões. Seja a variação de duas tecnologias,  $T_1$  e  $T_2$ , supondo  $T_1$  já existente; o modelo mais simples a ser proposto tem a taxa de variação de  $x$  dependente apenas do estado corrente da tecnologia. A variação de  $x$  com I será:

$$\frac{dx}{dI} = \lambda x \Rightarrow x = A e^{\lambda I} \tag{1}$$

<sup>2</sup> A proposta dos autores, nesses casos, é o emprego de técnicas de otimização global estocástica não suavizada.

Tabela 1. Comparação entre sistemas energéticos e biológicos

Modelo de Lotka-Volterra	Modelo de substituição tecnológica	Terminologia
população de presas	número de casas usando velha tecnologia	$x_1$
população de predadores	número de casas usando nova tecnologia	$x_2$
capacidade de deslocamento das presas	nº máximo de casas que podem usar velha tecnologia	$N_1$
capacidade de deslocamento dos predadores	nº máximo de casas que podem usar nova tecnologia	$N_2$
fração do crescimento de presas	taxa de aceitação da velha tecnologia	$k_1$
fração do crescimento de predadores	taxa de aceitação da nova tecnologia	$k_2$
fração de morte de presas	taxa de retirada da velha tecnologia	$d_1$
fração de morte de predadores	taxa de retirada da nova tecnologia	$d_2$
influência do predador sobre a presa	fator de interação entre nova e velha tecnologia	$b_1$
influência da presa sobre o predador	fator de interação entre velha e nova tecnologia	$b_2$
interação meio – e – tempo	interação meio – e – renda	$I$

Tal modelo pode ser melhorado assumindo-se que o sistema se estabiliza com o aumento da renda; a dependência entre  $\lambda$  e  $x$  pode ser modelada por uma função linear, assumindo para estabilidade do modelo que  $\lambda$  deve decrescer:

$$\frac{dx}{dt} = x(\mu - \alpha x) \Rightarrow x = \frac{A\mu}{\alpha A + e^{-\mu t}} \quad (2)$$

Tal modelo representa um sistema que se inicia em um estado particular e estabiliza exponencialmente até outro estado, podendo ser empregado para a modelagem de sistemas competitivos; em geral, sistemas competitivos são modelados usando um conjunto simultâneo de equações, ou, em outras palavras,  $x_1$  e  $x_2$  são interdependentes. Assumindo que  $x_2$  influi em  $x_1$  por meio de uma dependência linear, então a relação entre  $\mu$  e  $x_2$ , na sua forma mais simples, é  $\mu = v - \beta^* x_2$ , pelo que se pode chegar à Eq. (3) ou às Eqs. (4), de forma alternativa, por meio de uma interpretação mais simples:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1(v - \alpha x_1 - \beta^* x_2) \quad (3)$$

$$\frac{dx_1}{dt} = k_1 x_1 (N_1 - x_1 - \beta x_2) \quad (4)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = k_2 x_2 (N_2 - x_2 - \alpha x_1)$$

com  $v = k_1 x_1$ ,  $\alpha = k_1$ ,  $\beta = \beta^* / k_1$ . A solução analítica do caso geral para toda renda  $I$  não é possível de ser obtida para a solução do sistema de equações não-lineares acopladas; no entanto, para o caso especial em que  $\alpha = \beta = 1$ ,  $k_1 = k_2 = k$ , independente de  $I$ , sujeito a valores iniciais de estado dados por  $x_1(0) = x_1(I=0)$  e  $x_2(0) = x_2(I=0)$ , no qual  $N_1$  e  $N_2$  variam linearmente com  $I$  de acordo com as expressões  $N_1 = p_1 + q_1 I$  e  $N_2 = p_2 + q_2 I$ , em que  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $q_1$  e  $q_2$  são constantes. Para a composição das equações apresentadas deduz-se que:

$$\frac{d}{dt} (\ln x_2 - \ln x_1) = k(N_2 - N_1) \quad (5)$$

Substituindo  $N_1$  e  $N_2$  e simplificando para posteriormente aplicar a integração, chega-se a:

$$\ln \left( \frac{x_2}{x_1} \right) = C + pI + qI^2 \quad (6)$$

sendo as constantes  $C$ ,  $p$  e  $q$  obtidas por análise de regressão entre  $\ln(x_2/x_1)$  e  $I$ ; a Fig. 2 ilustra o emprego da relação expressa pela Eq. (7) para comparar GLP ( $x_2$ ) e querosene ( $x_1$ ). O modelo pode ser generalizado para um número finito de tecnologias competitivas,  $S_i$ ,  $i=1, 2, \dots, M$ , sendo  $E_i$  cada uma das tecnologias e  $Z$  o meio pelo qual se dá a interação:

$$\frac{dE_i}{dZ} = k_i (N_i E_i - \sum_{j=1}^{i-1} \beta_{ij} E_j) E_i \quad (7)$$

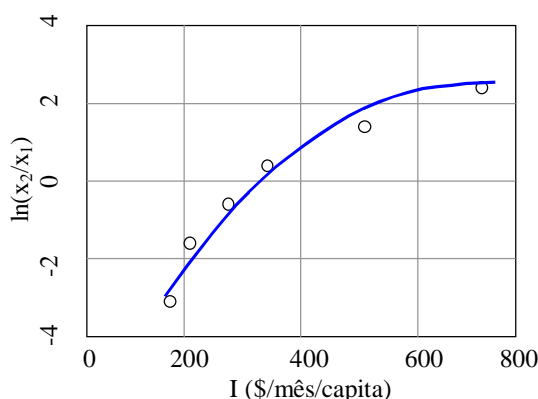


Figura 2. Substituição entre GLP e querosene

### 2.1.2. Modelo de difusão

O modelo de difusão, desenvolvido em Decanio e Laitner (1997), é apresentado pelos autores como uma generalização do modelo de escolha tecnológica pela visão econométrica; de acordo com a visão econométrica, a participação de mercado  $S_i$  da tecnologia  $i$  é dada por:

$$S_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_j e^{u_j}}, j = 1 \dots n \tag{8}$$

sendo  $u_i$  a função utilidade associada à escolha da tecnologia  $i$ , ao passo que o índice  $j$  varia sobre a faixa das  $n$  possíveis escolhas tecnológicas. Para simplificar a exposição, sejam apenas duas tecnologias, uma ‘nova’ e outra ‘velha’. A tecnologia velha é estática no sentido de que nem o custo inicial de seus componentes, tampouco seus custos operacionais mudam ao longo do tempo; dessa forma:

$$S_i = \frac{1}{1 + e^{-u_i}} \tag{9}$$

Se a função utilidade  $u_i$  é escrita como uma função do custo de investimento  $C_i$  e dos custos operacionais  $O_i$ , então um investimento que não altere a função utilidade será  $du(C_i, O_i) = 0 = u_1 dC_i + u_2 dO_i$ . Um investidor será indiferente entre fazer um investimento ou posterga-lo se e somente se seu valor presente líquido (NPV) for zero, isto é,

$$NPV = 0 = dC_i + \sum_{t=1}^T \frac{dO_i}{(1+r)^t} \tag{10}$$

no qual  $T$  é o tempo de vida útil do projeto e  $r$  é uma taxa de juros adequada. Dessa forma,

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-T}} \tag{11}$$

Se a função utilidade tomar a forma linear mais simples (com  $-\beta_{oi}$  escolhida de modo a fazer com que a participação da tecnologia  $i$  corresponda à sua atual participação de mercado),  $u_i = \beta_{oi} - \beta_{1i}C_i - \beta_{2i}O_i$  e se a vida útil do projeto for longo o bastante de modo que  $r = \beta_{1i}/\beta_{2i}$ , então:

$$S_i = \frac{1}{1 + e^{\beta_{oi} + \beta_{1i}C_i + \beta_{2i}O_i}} \tag{12}$$

com  $\beta_{oi}, \beta_{1i}$  e  $\beta_{2i}$  estimados por análise econométrica com técnicas de análise de dados<sup>3</sup>. Os autores deduzem que a equação (12) corresponde a uma forma simplificada da função logística de difusão, sendo esta última tomada em sua forma mais simples; a adoção de tecnologias dentro de um certo panorama econômico pode ser comparada a uma epidemia, na qual a taxa de mudança da participação de certa tecnologia é proporcional à fração de organizações que já

<sup>3</sup> Análise de regressão múltipla de dados, com aferição por coeficiente de correlação e estatísticas padrão (Student ou Qui-Quadrado).

tenham adotado a nova tecnologia, a fração que não a adotou ainda (e que está suscetível à adoção) e a taxa de sua evolução (que depende de fatores econômicos, como custos de investimento e operacionais). De modo formal, se  $S_i$  corresponde à participação da nova tecnologia  $i$ , então:

$$\frac{dS_i}{dt} = b_i S_i (1 - S_i) \tag{13}$$

valendo esclarecer que nessa expressão a variável  $b_i$  não é ainda expressa em termos das variáveis econômicas das quais pode depender. A equação diferencial assim disposta tem sua solução na função logística padrão:

$$S_i = \frac{1}{1 + e^{b_{oi} - b_i t}} \tag{14}$$

sendo  $b_{oi}$  a constante de integração que torna  $S_i(0)$  igual à atual participação de mercado da tecnologia; se  $b_i$  depender de fatores econômicos, como os custos operacionais e de investimento, passa a ser uma versão mais geral da função logística (13), cujo exemplo poderia ser:

$$S_i = \frac{1}{1 + e^{b_{oi} + b_{i1} C_i + b_{i2} O_i - b_i t}} \tag{15}$$

Essa forma particular pode ser obtida da equação (5) caso se considere, para custos operacional e de investimento em função do tempo,  $C_i(t) = C_i/t$  e  $O_i(t) = O_i/t$ , que em verdade são expressões adequadas para o tratamento da questão, visto que o conhecimento acerca da tecnologia adquirido pela seu emprego e as economias de escala tendem a declinar com o tempo. Uma expressão ainda menos restritiva seria:

$$S_i = \frac{1}{1 + e^{b_{oi} + b_{i1} C_i(t) + b_{i2} O_i(t) - b_i t}} \tag{16}$$

De acordo com Decanio e Laitner (1997, pp. 257), “o uso de uma função logística incompleta, que inclui apenas custos de investimento e operacionais, levará a uma estimativa inferior acerca da penetração de mercado de uma nova e superior tecnologia, e que uma especificação logística mais geral que inclua um termo de tendência garantirá uma melhor previsão da penetração de mercado de tecnologias”. A difusão de novas tecnologias, como as tecnologias poupadoras de energia – completam – ocorre por uma variedade de razões, incluindo-se a transmissão de informações, o aumento da familiaridade com os produtos e a efetividade de custo das mesmas. Uma outra aplicação desse equacionamento se traduz em estimativas do tempo que deve levar para que certa tecnologia se desloque de uma certa participação no mercado para uma maior participação; a manipulação algébrica da expressão logística mostra que se a tecnologia tem participação  $S_2$  no tempo  $t_2$  e participação  $S_1$  no tempo  $t_1$ , então:

$$t_2 - t_1 = \left(\frac{1}{b}\right) \ln \left( \frac{\left(\frac{S_2}{1 - S_2}\right)}{\left(\frac{S_1}{1 - S_1}\right)} \right) \tag{17}$$

Por exemplo, com taxa de difusão de  $b=0,4$  serão necessários 11 anos para que a tecnologia que dispõe de 10% do mercado alcance 90% de participação; com a mesma taxa de difusão, o tempo para que a tecnologia passe de 5% para 95% do mercado é de 14,7 anos. Vale ainda recomendar aos interessados em valida-las para situações reais uma atenta leitura ao trabalho de Ibrahim (1998); a partir do levantamento de estatísticas relativas às reservas provadas, as descobertas provadas e a taxa de produção de óleo e gás natural, o autor desenvolve um estudo em análise temporal, atestando as funções logísticas por meio de um teste estatístico.

## 2.2. Modelo de *portfolio*

A análise baseada em “carteira de ações”, ou *portfolio*, quando aplicada no contexto da análise de sistemas energéticos, consiste em estabelecer um *ranking* de alternativas, de acordo com um critério pré-estabelecido, de modo a que se dê a conhecer a seqüência e a capacidade desejável de cada uma das propostas de geração de energia. A teoria de *portfolio* está relacionada à combinação de risco e benefício de um conjunto de tecnologias; as técnicas de seleção de *portfolio* baseadas em teorias de variância média foram desenvolvidas na década de 1950 para permitir aos investidores criarem carteiras de investimentos ótimas (ou eficientes) com níveis de risco conhecidos.

Para Awerbuch (2000, pp. 1026), ‘*Portfolios financeiros são largamente utilizados por investidores para gerenciar o risco e maximizar o desempenho sob uma variedade de resultados econômicos imprevisíveis. De modo*

similar, é importante conceber a geração elétrica não em termos do custo de uma certa tecnologia hoje mas em termos do seu custo de portfolio. Num certo momento algumas alternativas do portfolio podem apresentar custos elevados enquanto outras podem contar com custos menores, e ainda sobre a escala de tempo a combinação adequada de alternativas serve para minimizar o custo geral de geração relativamente ao risco’.

De acordo com Ghasemzadeh e Archer (2000), um ‘projeto de seleção de portfolio é a atividade periódica envolvida na seleção de uma carteira de projetos, que permite alcançar os objetivos de uma organização sem que se excedam os recursos disponíveis ou sejam violadas outras restrições; alguns dos temas que podem ser associados a esse processo são os objetivos das organizações e prioridades, benefícios financeiros e intangíveis, disponibilidade de recursos e nível de risco da carteira de projetos’.

Basicamente, a análise de *portfolio* poderia ser identificada como uma análise de otimização<sup>4</sup> que incorpora uma função de risco, medida de muitos modos mas em especial por meio de variância estatística, pela qual se identificam e apresentam em ordem crescente de atratividade as alternativas que possam concorrer para a entrada nos sistemas de expansão da geração, bem como se discriminam as capacidades (ou quantidades) de cada uma das alternativas.

Xia et al. (2000) atribuem a Markowitz, na década de 1950, a proposição original do problema de seleção de *portfolio*; de acordo com esses autores, o problema de *portfolio* no contexto de variância média pode ser escrito como:

$$\text{Max } (1-w) \sum_{i=1}^n R_i x_i - w \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j \tag{18}$$

sujeito a :

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

- na qual:
- n - número de alternativas consideradas,
  - $x_i$  - proporção investida no componente i,
  - $R_i$  - retorno esperado do componente i,
  - $\sigma_{ij}$  - covariância dos retornos esperados nos componentes i e j,
  - w - fator de aversão ao risco do investidor ( $0 \leq w \leq 1$ )

Obviamente, quanto maior o valor de w, maior a aversão ao risco do investidor; quando w=1 o investidor será extremamente conservativo porque nesse caso apenas o risco do investimento (a segunda parcela da função objetivo) é considerado e nenhuma atenção é dada aos retornos do investimento. Ao contrário, se w=0 o investidor é altamente agressivo para perseguir os retornos do investimento, ignorando os riscos existentes. O retorno esperado e o risco do *portfolio* são, respectivamente, dados por:

$$R_p = \sum_{i=1}^n R_i x_i \tag{19}$$

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j$$

Os dados de entrada do problema de maximização identificado em (18) são os retornos esperados de cada componente e a matriz de variância/covariância dos retornos esperados em um portfolio; Xia *et al.* (2000) propõem, o emprego de 3 técnicas, sendo a primeira pela observação dos dados históricos, a segunda considerando modelo estatístico para captar as influências do mercado e a terceira por modelo multi-índices para também considerar influências externas ao mercado.

O artigo de Balachandra e Shekar (2001) apresenta uma análise de *portfolio* pela qual comparam-se diferentes tecnologias de iluminação, dispondo-se para tanto de 10 diferentes alternativas. Um modelo misto linear-inteiro foi desenvolvido para definir a seleção ótima entre as alternativas, considerando-se a viabilidade técnica e econômica. A viabilidade econômica é incorporada ao modelo através dos retornos financeiros que poderiam ser obtidos pela troca mais eficiente entre as alternativas; a viabilidade técnica é alcançada em termos dos níveis de iluminação demandados e o potencial de uma certa alternativa prover tal nível de iluminação. O modelo de otimização será:

$$\text{Max } \sum_{i,j=1}^{I,J} \sum_{k=1}^K (C_{ik} - C_{jk}) N_{i \rightarrow j,k} - \sum_{i,j=1}^{I,J} \sum_{k=1}^K OC_{i \rightarrow j,k} \tag{20}$$

sujeito a :

$$\sum_{i,j=1}^{I,J} N_{i \rightarrow j,k} \geq N_k \quad \forall k$$

<sup>4</sup> Entendida em termos científicos como passível de equacionamento por função objetivo que possa ser maximizada ou minimizada.

$$\sum_{i,j=1}^{I,J} N_{i \rightarrow j,k} \leq N$$

$$\sum_{i,j=1}^{I,J} L_{i \rightarrow j} N_{i \rightarrow j,k} \geq L_k \quad \forall k$$

$$EC_{i \rightarrow j} N_{i \rightarrow j,k} = OC_{i \rightarrow j} \quad \forall i, j, k$$

todas as variáveis  $\geq 0$

sendo:

- $C_{i,k}$  - custo anual de utilização da alternativa original  $i$  por  $k$  horas
- $C_{j,k}$  - custo anual de utilização da alternativa substituta  $j$  por  $k$  horas
- $N_{i \rightarrow j,k}$  - número de equipamentos trocados pela alternativa  $j$  por  $k$  horas
- $OC_{i \rightarrow j,k}$  - custo da oportunidade de não utilizar o equipamento apropriado por  $k$  horas
- $N_k$  - número mínimo de equipamentos por  $k$  horas
- $N$  - máximo número de equipamentos no sistema em análise
- $L_{i \rightarrow j,k}$  - níveis de iluminação (fluxo, lumens) fornecida por certa alternativa
- $L_k$  - mínimo nível de iluminação requerida quando o nível de duração é  $k$
- $EC_{i \rightarrow j}$  - custo extra a ser taxado por adotar alternativa de maior potência (W)
- $OC_{i \rightarrow j}$  - custo da oportunidade de utilização de alternativa inadequada
- $R_p$  - taxa de retorno do *portfolio*
- $R_i$  - taxa de retorno esperada da alternativa  $i$
- $P_i$  - proporção da alternativa  $i$  no investimento total
- $m$  - número total de alternativas no *portfolio*
- $\sigma_p^2$  - variância do *portfolio*
- $\sigma_{i,j,k}$  - covariância
- $\sigma_{i,i} = \sigma_i^2$  - variância

As equações a seguir se prestam ao cálculo do risco e são necessárias para estabelecer o *ranking* das alternativas:

retorno do *portfolio*: 
$$R_p = \sum_{i=1}^m R_i P_i \tag{21}$$

variância associada ao *portfolio*: 
$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_i P_j \sigma_{i,j} \tag{22}$$

risco do *portfolio*: 
$$\sigma = \sqrt{\sigma_p^2} \tag{23}$$

As tabelas que seguem apresentam resultados da avaliação do modelo proposto; os resultados da Tab. 2, de retorno anual esperado pelo risco, são apresentados na forma gráfica na Fig. 3, lembrando-se que as alternativas disponíveis são comparadas com a possibilidade de investimento no mercado de capitais (solução 12), cuja proporção retorno x risco não se mostra favorável face às demais alternativas. A Tab. 3 apresenta o resultado ótimo do *portfolio*, desenvolvido a partir do equacionamento proposto nas equações 20 a 23.

Tabela 2. Retorno anual esperado e risco de cada alternativa

	alternativas viáveis	retorno anual esperado (%)	risco (%)
1	IB40 → FT20	7,52	2,457
2	IB40 → FT18	11,87	2,527
3	IB40 → CFL9	-4,50	8,415
4	IB60 → FT20	36,63	2,117
5	IB60 → FT18	38,66	2,153
6	IB60 → CFL9	27,40	6,491
7	IB60 → CFL12	16,00	7,056
8	IB100 → FT40	37,44	1,352
9	IB100 → CFL15	42,00	5,120
10	IB100 → CFL12	48,11	4,722
11	IB100 → FT36	43,07	1,399
12	Mercado de capitais	13,62	20,89

Nota: IB – bulbo incandescente; FT – tubo fluorescente; CFL – lâmpada fluorescente compacta; o número é a potência da lâmpada (W)

Os trabalhos de Wang (2000) e Wang *et al.* (1996) consistem em aplicações de programação mista linear-inteira para estabelecer a estratégia operacional ótima de produção de energia pela combinação de unidades existentes, baseadas em queima de carvão, e novas unidades, baseadas em gás natural, bem como considerações de inclusão de restrições ambientais como o *Framework Convention on Climate Change* (FCCC), relativo à redução dos níveis de CO<sub>2</sub>, e o *Clean Air Act Amendment* (CAAA), relativo ao controle das emissões de SO<sub>2</sub>.



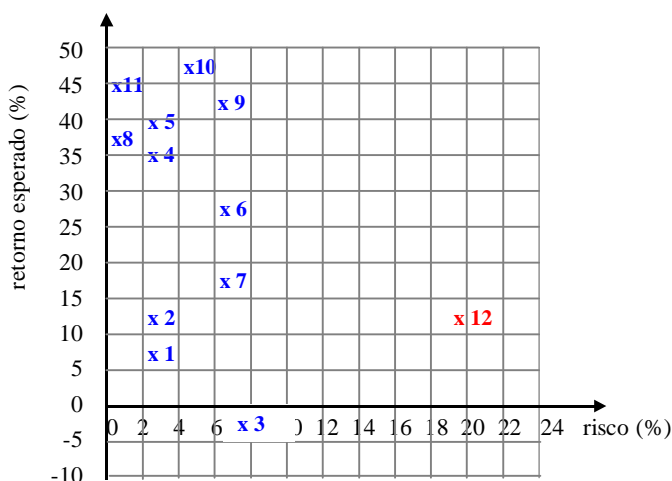


Figura 3. Representação gráfica das alternativas propostas

Tabela 3. Resultado ótimo da análise de *portfolio*

alternativas	n° de horas de uso	quantidade requerida	investimento (\$)	retorno (\$)	retorno estimado (\$)	retorno estimado(%)	risco (%)	ciclo de substituição (anos)
IB40	0,5	1	11	0	0	0	0	5,48
IB40	1,0	1	11	0	0	0	0	2,74
FT36	1,5	1	217	37,22	31,75	32,06	2,78	10,96
FT36	2,0	1	217	56,32	36,10	36,35	2,25	8,22
CFL12	3,0	2	1150	187,56	40,14	40,77	5,65	9,13
CFL12	4,0	2	1150	279,34	44,87	45,44	5,06	6,85
FT36	5,0	1	217	166,90	42,91	43,07	1,40	3,29
CFL12	6,0	1	575	230,05	79,31	49,82	4,51	4,57
total	-	10	3548	957,39	-	-	-	-

retorno do investimento (%)=26,98; *payback* (anos)=3,71; retorno estimado do *portfolio* (%)=43,32; retorno esperado do *portfolio* (%)=42,84; risco do *portfolio* (%)=2,69; retorno do mercado (%)=13,62; risco do mercado (%)=20,89

### 2.3. Modelo de análise de ciclo de vida

A análise de ciclo de vida (LCA, de *Life Cycle Analysis*) é hoje uma das técnicas mais exploradas no contexto de estudos ambientais; de acordo com Azapagic e Clift (1999a), ‘a análise de ciclo de vida representa uma aplicação da análise de sistemas a problemas de gerenciamento ambiental’. Azapagic e Clift (1999b) a definem como ‘um método para definir e reduzir os problemas ambientais de um produto, processo ou atividade pela identificação e quantificação da energia, da movimentação de materiais e descargas de resíduos, acessando os impactos dos resíduos no ambiente e avaliando oportunidades para melhorias ambientais sobre todo o seu ciclo de vida’.

Essa metodologia é apresentada no contexto da análise aqui desenvolvida pelo fato de, em se aceitando o fato de que as fontes renováveis e as novas tecnologias podem realmente estar sendo penalizadas quando a análise de viabilidade se faz única e exclusivamente por meio dos modelos tradicionais de avaliação financeira, ser preciso buscar metodologias que permitam ao menos contemplar tais possibilidades sem barreiras estruturais. Nesse sentido, a análise de ciclo de vida pode ser uma interessante possibilidade, uma vez que contempla toda a existência de um processo, produto ou atividade, desde a sua origem até sua disposição final<sup>5</sup>.

Os principais estágios da LCA são dados pela norma ISO14040<sup>6</sup> (Azapagic e Clift, 1995):

- o **Definição e escopo de metas:** no qual os contornos do sistema são definidos;
- o **Inventário do uso de energia e materiais,** bem como emissões e resíduos sólidos, conhecidos coletivamente como “descargas”;
- o **Avaliação de impactos,** que compreende:
  - **classificação:** pela qual as descargas são agregadas em um número menor de impactos ambientais;
  - **caracterização:** pela qual os impactos ambientais potenciais são quantificados;
  - **avaliação:** pela qual os impactos ambientais são reduzidos a uma só medida de desempenho ambiental.
- o **Interpretação** das atividades necessárias para reduzir os impactos ambientais.

<sup>5</sup>Nas palavras de Azapagic e Clift (1999b), “*from cradle to grave*”, ou do berço à sepultura.

<sup>6</sup>ISO 14040. Environmental management – life cycle assessment – Part 1: Principles and Framework. 1997.

A Fig. 4 ilustra o fluxo dos elementos pertinentes ao ciclo de vida de um produto; enquanto a engenharia de processos está relacionada com o contorno 1, a LCA considera a cadeia de suprimento de materiais e energia. Os fluxos de materiais e energia que entram, existem no ou deixam o sistema incluem recursos e emissões de materiais e energia para o ar, água e terra, sendo referidos como descargas ambientais e que resultam de atividades de extração de matérias primas, transporte, produção e uso/disposição de resíduos de um produto/processo. Os efeitos potenciais de descargas ambientais normalmente englobam aquecimento global, acidificação, destruição da camada de ozônio, dentre outros.

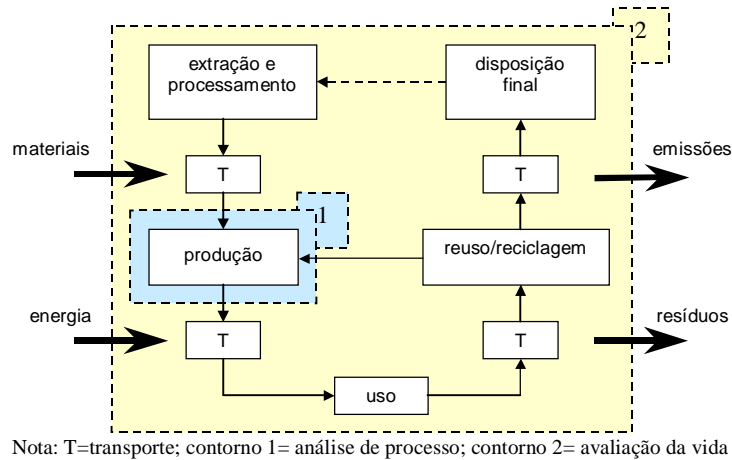


Figura 4. Estágios do ciclo de vida de um produto

Azapagic e Clift têm se notabilizado por uma proposta voltada para uma abordagem de programação matemática, tendo inicialmente proposto uma abordagem linear (Azapagic e Clift, 1995) e na seqüência um modelo mais completo, envolvendo programação multiobjetivo para otimização do conflito entre os objetivos econômico e ambiental (Azapagic e Clift, 1999a,b), com modelo multicritério para auxiliar a tomada de decisão. Cornelissen, Marquart e Hirs (1999) propõem o emprego da análise exérgica em associação com a análise de ciclo de vida, no que os autores denominam ELCA (*Exergetic Life Cycle Analysis*); em sua avaliação, um dos pontos fracos da LCA reside no cálculo da degradação dos recursos naturais, para os quais citam o exemplo da degradação de minerais da natureza, como o ferro, o cobre e o zinco. Afirmam, por fim, que a medida da degradação se torna uma perda de recursos naturais para que se desempenhem as transformações necessárias, e que para a medida dessa perda deve-se utilizar a exergia.

Otoma *et al.* (1997) desenvolvem análise de ciclo de vida para uma central térmica que incinera lixo urbano (RSM, resíduos sólidos municipais), comparativamente à geração térmica convencional, com avaliação energética e de balanço de CO<sub>2</sub>; na Fig. 5 ilustra-se o esquema considerado para a avaliação da central térmica. De acordo com um consenso econômico tradicional, se a energia que é requerida para o funcionamento da central térmica é maior que a energia por ela produzida, fica difícil justificar a recuperação energética; tal central térmica somente será, então, considerada aceitável se :

$$\frac{E}{C} > 1 \tag{24}$$

e, por outro lado, quando se considera uma unidade de incineração de resíduos como uma unidade produtora de energia, deve-se comparar a energia necessária para compor as unidades de incineração dos resíduos e geração de potência com a quantidade de energia elétrica líquida que será entregue pela central térmica, sendo que as mesmas equações podem ser utilizadas tanto para a análise por energia quanto por emissões de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{E - A}{B + C} > 1 \tag{25}$$

Os resultados alcançados pelos autores em seu trabalho são resumidos a seguir:

- quando a geração de energia com RSM é concebida como um meio de recuperação térmica, a potência gerada é 78,7 vezes àquela necessária para uma central de geração, e a emissão de CO<sub>2</sub> é reduzida em 45,3 vezes em relação à mesma central, o que a torna efetiva na forma de redução das emissões de CO<sub>2</sub>;
- quando a geração de energia com RSM é concebida como um meio de produção de energia, a potência gerada é 9,5 vezes àquela necessária para a construção e operação da unidade de incineração, e a emissão de CO<sub>2</sub> é reduzida em 4,1 vezes àquela necessária para uma central de geração, o que a torna efetiva na forma de redução das emissões de CO<sub>2</sub>;
- o balanço de energia de uma central térmica com RSM é aproximadamente o mesmo de uma central térmica convencional (a óleo ou a gás) e mesmo quando a eficiência de geração é baixa a central de geração com RSM é uma forma efetiva de recuperação térmica e redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

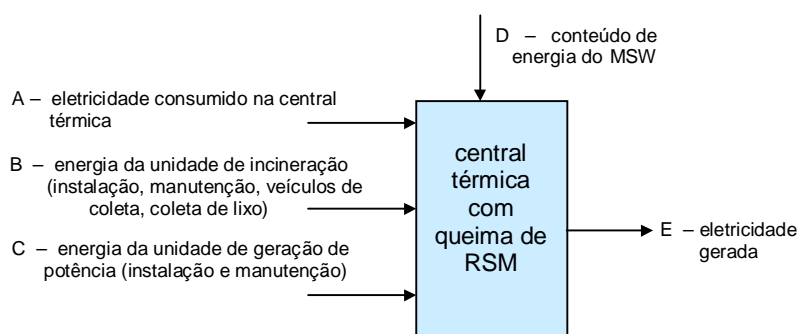


Figura 5. Esquema para LCA em central térmica de incineração

Vale, por fim, registrar o comentário de Norton (1999): ‘A avaliação de tecnologias energéticas renováveis, de um ponto de vista ecológico, requer avaliação de toda a cadeia energética, a iniciar-se pelo processo de manufatura. Contudo, devido à grande diversidade de sistemas e as complicações metodológicas dos procedimentos de avaliação, há considerável divergência de opiniões com respeito ao nível de danos ambientais’. No campo metodológico ainda pode-se destacar o trabalho de Mamlook, Arash e Mijmeh (2001), que apresenta uma comparação entre diferentes sistemas solares para várias aplicações, com tratamento a partir da metodologia *fuzzy* e da seleção multicritério, o emprego de redes neurais para modelagem e projeto de sistemas térmicos com aporte de energia solar (Kalogirou, 2001) e os recentes trabalhos de Venetsanos *et al.* (2002) e Frayer e Uludere (2001) no campo da aplicação da metodologia *real options*, respectivamente, para as fontes renováveis nos mercados de energia sob incertezas e para o mercado de energia e gás.

### 3. Conclusões

Uma visão geral acerca dos modelos logísticos, de *portfolio* e de análise de ciclo de vida foi apresentada, de modo a caracterizar os possíveis recursos metodológicos de avaliação de novas tecnologias; modelos com elevado potencial de aplicação, como *real options*, foram oportunamente citados. O intuito com o qual se pautou a pesquisa metodológica foi a busca das alternativas que pudessem favorecer a entrada de novas tecnologias no elenco dos sistemas de geração quando da análise de expansão dos sistemas existentes.

O campo de aplicação de novas alternativas metodológicas se revela, desse modo, com amplas possibilidades ainda por serem testadas, e que podem se revelar mais ou menos adequadas, em função da fonte de energia, forma de geração em análise, local de aplicação, dentre outros, cabendo a continuidade de sua pesquisa e do seu desenvolvimento.

### 4. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio no desenvolvimento do programa de pós doutorado do primeiro autor, no ano de 2001, no LABSOLAR/UFSC, e ao CNPq. Os autores agradecem aos comentários dos revisores *ad hoc*.

### 5. Referências

- Azapagic, A., Clift, R., 1995, “Life cycle assessment and linear programming – environmental optimisation of product system”, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 19, pp. S229-S234.
- Azapagic, A., Clift, R., 1999a, “The application of life cycle assessment to process optimisation”, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 23, pp. 1509-1526.
- Azapagic, A., Clift, R., 1999b, “Life cycle assessment and multiobjective optimisation”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 7, pp. 135-143.
- Awerbuch, S., Dillard, J., Mouck, T., Preston, A., 1996, “Capital budgeting, technological innovation and the competitive environment of the electric power industry”, *Energy Policy*, Vol. 24, pp. 195-202.
- Awerbuch, S., 2000, “Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology”, *Energy Policy*, Vol. 28, pp. 1023-1035.
- Balachandra, P., Shekar, G.L., 2001, “Energy technology portfolio analysis: an example of lighting for residential sector”, *Energy Conversion Management*, Vol. 42, pp. 813-832.
- Cornelissen, R.L., Marquart, Hirs, G.G., 1999, “The value of the exergetic life cycle assessment besides the LCA”, *ECOS’99*, June 8-10, Tokyo, pp. 282-286.
- Decanio, S.J., Laitner, J.A., 1997, “Modeling technological change in energy demand forecasting – a generalized approach”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 55, pp. 249-263.
- Frayer, J., Uleder, N.Z., 2001, “What is it worth? Application of real options theory to the valuation of generation assets”, *The Electricity Journal*, Vol. 14, n. 8, pp. 40-51.
- Ghasemzadeh, F., Archer, N.P., 2000, “Project portfolio selection through decision support”, *Decision Support Systems*, Vol. 29, pp. 73-88.

- Griliches, Z., 1957, "Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change", *Econometrica*, v.25, n.4, p. 501-522. APUD: Decanio, S.J., Laitner, J.A., 1997, *op. cit.*
- Gritsevskiy, A., Nakicenovic, N., 2000, "Modeling uncertainty of induced technological change", *Energy Policy*, Vol. 28, pp. 907-921.
- Hausman, J.A. Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables. *Bell Journal of Economics*, v. 10, n.1, p. 44-54, 1979. APUD: Decanio, S.J., Laitner, J.A., *op. cit.*, 1997.
- Ibrahim, S.M.A. Estimates of oil and natural gas (NG) reserves in Egypt. *Energy*, v. 23, n.11, p. 997-1005, 1998.
- Kalogirou, S.A., 2001, "Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 5, p. 373-401.
- Manlook, R., Akash, B.A., Nijmehh, S. Fuzzy sets programming to perform evaluation of solar systems in Jordan. *Energy Conversion Management*, v. 42, p. 1717-1726, 2001.
- Mansfield, E. Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, v. 29, n.4 p. 741-766, 1961. APUD: Decanio, S.J., Laitner, J.A., *op. cit.*, 1997; Reddy, B.S., *op. cit.*, 1996.
- Norton, B. Renewable electricity – what is the true cost? *Power International Journal*, v. 13, n. 1, p. 6-12, 1999.
- Otoma, S., Mori, Y., Terazono, A., Aso, T., Samishima, R. Estimation of energy recovery of CO<sub>2</sub> emissions in municipal solid waste power generation. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 20, p. 95-117, 1997.
- Porter, R.W., Mastanaiah, R., 1982, "Thermal-economic analysis of heat-matched industrial cogeneration systems", *Applied Energy*, Vol.7, n.2, pp. 171-187. Reddy, B.S. Modelling of competing technologies in the residential sector. *Energy Conversion and Management*, v. 37, p. 117-125, 1996.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P, Tsoutsos, T., 2002, "Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment", *Energy Policy*, Vol. 30, pp. 293-307.
- Xia, Y., Liu, B., Wang, S., Lai, K.K. A model for portfolio selection with order of expected returns. *Computers and Operations Research*, v. 27, p. 409-422, 2000.
- Wang, E.J., Jaraiedi, M., Torries, T.F. Modelling long-run cost minimization and environmental provisions for utility expansion. *Energy Economics*, v. 18, p. 49-68, 1996.
- Wang, E.J. Assessing fuel substitution from coal to natural gas for power plants in compliance with FCCC provisions. *Energy Sources*, v. 22, n. 8, p. 683-712, 2000.

## 6. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## EVALUATION MODELS FOR THE INSERTION OF ENERGY ALTERNATIVE SOURCES INTO THE ELECTRICAL GENERATION NETWORK

**José Antônio Perrella Balestieri**

UNESP –Guaratinguetá Campus –Energy Department, PO Box 205 – 12516-410 – Guaratinguetá – SP  
[perrella@feg.unesp.br](mailto:perrella@feg.unesp.br)

**Sergio Colle**

UFSC – Mechanical Engineering Department – PO Box. 476 – 88040-090 – Florianópolis – SC  
[colle@emc.ufsc.br](mailto:colle@emc.ufsc.br)

**Abstract.** *The energy crisis occurred in the beginning of XXI century in some countries highlights the need of amplifying the electrical generation basis by including advanced technologies, which is systematically abandoned in the cost/benefit analysis only because the employed models are not able to warranty adequate conditions for an open competition between them and the conventional established technologies. Several new technologies presently available, some of them in a more advanced development stage than others (as photovoltaics and fuel cells), are not allowed to be included in the electrical generation network because the cost models nowadays in use impose high penalties to their investment costs without considering their favorable points, as the environmental characteristics and their high efficiency. In this context, several new methodologies based on new evaluation approaches have been proposed to reduce the barriers so imposed. This article presents the major contributions to the evaluation modeling, identifies their characteristics and establishes the conditions in which they will be favorably recommended.*

**Keywords.** *Logistic models, econometric models, portfolio model, energy generation, alternative sources of energy .*