

INIS-mf-- 941

CLAUDIO ANTONIO SCARPINELLA

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO
PARA A IMPLANTAÇÃO
DA INDÚSTRIA NUCLEAR DO BRASIL

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA"

SÃO PAULO, 1972

CLAUDIO ANTONIO SCARPINELLA

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO PARA A IMPLANTAÇÃO DA
INDÚSTRIA NUCLEAR BRASILEIRA

Orientador: Prof. Dr. Ruy Aguiar da Silva Leme

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
" Mestre em Engenharia"

A meus pais
À minha esposa
À minha filha

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Ruy Aguiar da Silva Leme, orientador deste trabalho, pela colaboração e sugestões.

Ao Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni, Diretor do Instituto de Energia Atômica, pelo apoio recebido.

Ao Eng. Pedro Bento de Camargo, Chefe da Divisão de Engenharia Nuclear do Instituto de Energia Atômica, pela sugestão inicial deste trabalho e pelas facilidades concedidas.

Ao Prof. Dr. Yoshiyuti Hukay, Assistente da Chefia da Divisão de Engenharia Nuclear do Instituto de Energia Atômica, pelas sugestões e críticas.

Às Srtas. Geny Carvalho e Odette Regina Delion, pelos trabalhos de datilografia.

Aos colegas da Divisão de Engenharia Nuclear, pelas úteis discussões.

RESUMO

A Análise Custo-Benefício tem por fim selecionar alternativas de projetos, essencialmente comparando as respectivas estimativas de custos e de valores agregados dos consumidores. Entretanto, para projetos de grande porte e complexidade, essas estimativas são insuficientes. É o caso da Indústria Nuclear Brasileira.

Definida como o conjunto das Centrais Elétricas Nucleares, e das Indústrias que projetam e fabricam seus componentes e sistemas, assim como seus materiais e combustíveis, a Indústria Nuclear parte no Brasil de uma base muito estreita, devendo exigir pesados investimentos, e usar tecnologias de grande sofisticação, pouco conhecidas aqui.

Uma Análise Custo-Benefício dessa Indústria deverá incorporar a variabilidade no espaço e no tempo e as incertezas de todas as previsões e estimativas usadas. Para isto é proposto um modelo de análise que usa uma série de funções de avaliação das alternativas: Benefícios em Consumo Agregado, Benefícios em Redistribuição do Consumo por Região, Benefícios em Custo do Serviço; Custos de Capital, Aderência ao Plano Nacional de Recursos. Efetividade em Integração de Escala e Efetividade em Integração de Sequência.

As funções de avaliação atribuem notas às alternativas representadas por números inteiros, e possibilitam uma avaliação global, por soma simples ou ponderada. O modelo proposto permite uma avaliação que incorpora todos os tipos de critérios em vez de apenas uma sua parte. Daí a sua possibilidade de ser reproduzido para uma variedade de situações e para vários estágios de desenvolvimento do projeto.

SUMMARY

Cost-Benefit Analysis is devoted to choose projects alternatives, essentially comparing the respective Cost and Consumers' Aggregate-Value estimates. However, for projects of big size and complexity, these estimates are not sufficient. This is the case of the Brazilian Nuclear Industry.

Being defined as the whole composed by the Nuclear Power Stations and the connected Industries which design and manufacture their components and systems, as well their materials and fuels, the Brazilian Nuclear Industry is starting from a very strict basis, needing huge investments, using sophisticated technology, not still very well known in the country.

The Cost-Benefit Analysis of this Industry must incorporate the space and time variabilities, as well the uncertainties of all forecasts and estimates used. For this analysis a Model is proposed that uses a set of Evaluation Functions for the alternatives as follows: Aggregate Consumption Benefit, Benefit from Redistribution of Consumption per Region, Service Cost Benefit; Capital Costs, Fitness to the National Resources Plan; Effectiveness in Scale Integration; Effectiveness in Sequence Integration.

The Evaluation Functions assign integer numbers as scores to the alternatives that allow to build a total evaluation by simple sum or by ponderation.

The proposed Model allows an evaluation that includes all types of criteria, instead of just part of them. From this, its possibility to be reused for a broad variety of situations of development stages of the project.

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
<u>INTRODUÇÃO</u>	1
<u>1ª Parte - Análise Custo-Benefício. Fundamentos</u>	
1.1 - <u>Introdução</u>	3
1.2 - <u>Alguns Conceitos da Teoria do Consumidor</u>	5
1.2.1 - Utilidade	5
1.2.2 - Axiomas da Utilidade de Ordinal	6
1.2.3 - A Função de Bem Estar Social (Welfare Function)	8
1.3 - <u>Dimensões da Análise</u>	10
1.3.1 - Uma, duas, ou várias alternativas	11
1.3.2 - Variáveis características das alternativas	12
1.3.3 - Alternativas no cálculo de custos e benefícios	13
1.3.3.1 - O Consumo Agregado como critério para Avaliação de benefícios ...	14
1.3.3.2 - Tipos de benefícios, segundo Marglin	15
1.3.3.3 - Taxas de desconto para a avaliação intertemporal de custos e benefícios	19
1.3.3.4 - Valores Sociais dos Custos e Benefícios	23
1.3.4 - Espaço de Ação, Critério de Avaliação, Objetivos. Uma digressão	25
<u>2ª Parte - Um Modelo a Níveis Discretos de Avaliação Custo Benefício - para a Indústria Nuclear</u>	
2.1 - <u>Aplicação do Modelo</u>	28
2.2 - <u>A Indústria Nuclear Brasileira. Delineamento Geral do Problema e Objetivos</u>	31
2.2.1 - Um Esboço da Indústria Nuclear	32
2.2.1.1 - A Central Elétrica Nuclear	33
2.2.1.2 - O Ciclo do Combustível	36
2.2.1.3 - Os Setores da Indústria Nuclear-Brasileira	38
2.2.1.4 - Os Sistemas na Construção e na Operação das CEN	49
2.2.2 - Definição dos Critérios de Avaliação e de seus Pesos	53
2.2.2.1 - Definição do Espaço de Ações ...	54
2.2.2.2 - As Funções dos Critérios de Avaliação	56
Conclusões e Comentários	71

	<u>Pág.</u>
Apêndice A. O Plano Nacional de Desenvolvimento	73
Apêndice B. Uma Ilustração do Modelo	74
Referências Bibliográficas	79

INTRODUÇÃO

Era nosso propósito inicial realizar uma análise custo-benefício da implantação das centrais elétricas nucleares do Brasil, à maneira das análises comumente encontradas na literatura e em relatórios de entidades governamentais. O exame das várias implicações do problema que seria objeto da análise custo benefício, entretanto, levou-nos a mudar tanto o tema da análise como a sua forma de abordagem, e acabamos por buscar não mais resultados definidos em relação à realidade objetiva, mas propostas metodológicas.

Em relação ao tema: A implantação de centrais elétricas nucleares implica em gastos elevados tanto de capital, com valores, por unidades de energia, comparáveis aos das usinas hidroelétricas, como de combustíveis, além do uso de uma tecnologia relativamente complexa, de pequena difusão entre nós até agora. Até o ano 2000 deverá estar instalada no Brasil, só em centrais nucleares, uma capacidade ao menos três vezes superior a toda a capacidade hoje instalada, que consta de centrais hidroelétricas e termoeletricas convencionais. Assim, uma questão tanto ou mais importante do que a de decidir na escolha entre várias concepções de central elétrica nuclear será a de decidir quem vai construir e onde essas centrais, quando e quais os componentes que devem ser fabricados, projetados, desenvolvidos no país. A mesma questão surge quanto ao suprimento de combustíveis nucleares para os reatores.

Ou seja, o planejamento da implantação de centrais elétricas nucleares implica no planejamento mais amplo da Indústria Nuclear. Entendemos neste trabalho, por Indústria Nuclear, o conjunto das centrais elétricas nucleares instaladas, mais as fábricas e usinas onde são fabricados (e possivelmente projetados e desenvolvidos) os sistemas que compõem as mesmas, e os materiais especiais e os combustíveis nucleares. Da observação do histórico recente da indústria nuclear nos países industriais, concluímos que o planejamento da indústria nuclear é prioritário tanto para a evolução do sistema energético como de todo o sistema produtivo nacional.

Em relação à abordagem: A análise custo-benefício tem, por implicação de seu próprio nome, a finalidade de identificar e confrontar os benefícios à sociedade de um determinado projeto com os custos por ele incorridos. E, de um modo geral, é isso que fazem as análises custo-benefício sobre programas de energia nuclear até hoje publicadas. Entretanto, é difícil compará-las entre si, devido às formas diversificadas em que elas se apresentam. As únicas constantes em todas as análises são a comparação entre os custos totais ou unitários da energia elétrica e ser gerada, e alguma estatística dos requisitos de óxido de urânio do programa. No mais, elas são extremamente diversificadas - na forma, nas motivações, nas hipóteses e na presença (ou relativa ausência) de objetividade científica.

Outro problema que condiciona e particulariza as análises é o das informações. Análises custo-benefício, como quaisquer análises de avaliação de projetos, devem contar com informações naturalmente incertas, já que baseadas em parte em previsões e hipóteses com grande carga de subjetividade.

No caso da energia nuclear, é preciso considerar um outro fator que se torna proeminente: há grandes probabilidades de mudanças tecnológicas, afetando partes importantes das centrais nucleares nos próximos 10 ou 20 anos. Essas mudanças fatalmente alterarão resultados como a avaliação do custo do kwh, requisitos de U_3O_8 , de serviços de enriquecimento de urânio e de materiais especiais, assim como o total dos investimentos e a sua repartição no período.

Tudo isto vem sugerir que procurar diretamente resultados nas formas tradicionais, tais como o benefício líquido ou razões custo-benefício pode ser uma atividade perigosa, na medida em que podemos ter distorcido demasiadamente a realidade ou ignorado opções fundamentais - nesse processo.

Resultado: Seguindo a recomendação geral da pesquisa operacional, de não questionar apenas os aspectos visíveis e operacionais do sistema, mas também os seus próprios fundamentos, decidimos pesquisar

a aplicação de um modelo matemático simples, talvez o mais simples para o caso, que permita assimilar, de maneira ingênua mas em toda a sua complexidade, o tema analisado. Nesta pesquisa colocamos a ênfase maior do presente trabalho. Nosso objetivo aqui será mais de expor e sugerir do que demonstrar a efetividade do modelo. Uma demonstração plenamente satisfatória e objetiva da validade do modelo sobrepujaria as finalidades de uma dissertação de mestrado, e uma demonstração parcial ou incompleta correria o risco de não demonstrar absolutamente nada.

1a. Parte : Análise Custo-Benefício - Fundamentos -

1.1 - Introdução

Um processo de decisão em planejamento, previsão ou programação da produção sempre envolve o uso de modelos, sejam eles econômicos ou matemáticos. Os fatos que têm importância para as decisões do processo são aí reproduzidos por variáveis e por relações funcionais entre as mesmas. Pelo estudo da influência da variação de um grupo de variáveis sobre as demais, deduz-se o comportamento do sistema. O reconhecimento de que há, na análise de um sistema tecnológico ou econômico qualquer, o uso implícito ou explícito de um modelo, permite separar a realidade de sua representação e destacar um determinado objetivo das condições normais de operação do sistema. Podemos encontrar aí uma das razões do desenvolvimento extraordinário das técnicas de pesquisa operacional, desde a 2a. guerra mundial : programação linear, programação dinâmica, modelos de otimização em geral, teoria dos jogos, simulação. Mas as técnicas tradicionais de gestão e planejamento, tanto micro como macroeconômico, elaboradas a partir de registros contábeis, também podem ser consideradas como técnicas que utilizam modelos. Os registros contábeis, os mapas de custos, são conjuntos de variáveis que representam ações definidas na operação de um sistema econômico.

Assim deve também ser considerada a análise custo-benefício. Nela, assumimos que os resultados da ação governamental na execução de um projeto destinado à coletividade podem ser representados por

duas funções dos seus resultados objetivos: de um lado os custos e de outro os benefícios. Uma função "Z" dessas duas funções é definida como função objetivo, que deve ser otimizada.

Em sua forma atual, a análise custo-benefício foi introduzida pela primeira vez na década de 1930, em programas americanos de desenvolvimento de recursos hídricos. O primeiro autor que trata o assunto, entretanto, é o engenheiro francês Jules Dupuit, que já no século passado propôs como medida da utilidade para o consumidor (base do cálculo dos benefícios) o conceito de propensão a pagar, que é a integral da curva de demanda sobre a quantidade consumida. Esse valor também é chamado por alguns autores mais recentes de "Valor do Consumidor". Corresponde à área sombreada da figura 1.

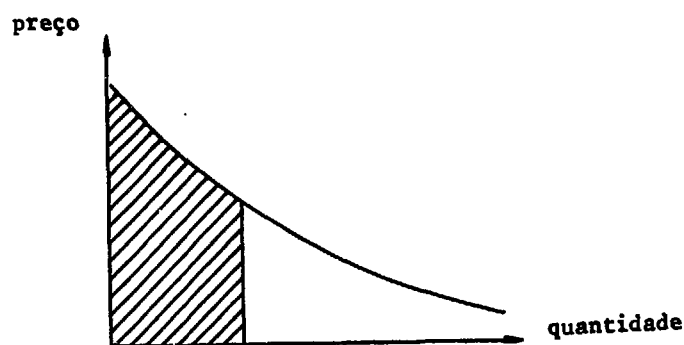


figura 1.1. Curva da Demanda e Valor do Consumidor

Os conceitos sobre os quais está montada a estrutura da análise custo-benefício foram desenvolvidos principalmente a partir do início deste século: função de utilidade, função de bem estar social. Conceitos econométricos como consumo agregado, distribuição de renda; e de caráter predominantemente político, como auto-suficiência e integração nacional, que sempre apareceram de alguma forma nos antigos estudos de projetos, são de origem anterior.

Quais as variáveis que devem ser utilizadas na análise, e de que forma, constitui um problema que parece ter uma infinidade de soluções, considerando-se a diversidade de abordagens utilizadas em várias análises custo-benefício realizadas e publicadas.

Em geral, o termo análise custo-benefício é usado em estudos que objetivam comparar decisões alternativas relacionadas com projetos cujos objetivos transcendem o campo normal de interesse das empresas privadas, com o fim de tomar aquela que, com os custos sujeitos a restrições ou à minimização, possibilite o maior benefício à coletividade. Alguns autores entendem que ele também se aplica aos estudos de investimentos em empresas privadas. Em todo caso, a natureza destes estudos é bem diferente: no caso de empresas privadas, os custos são o valor ou estimativa do valor no mercado de insumos do projeto; os benefícios são os retornos, em cruzeiros. Os tipos de benefícios que entram em análises custo-benefício de projetos governamentais - consumo agregado, redistribuição do consumo agregado e objetivos políticos em geral, e as variações que sofrem as estimativas dos custos quando consideramos o seu valor social ao invés do seu valor de mercado dão a este tipo de análises um caráter ao mesmo tempo mais complexo e mais sujeito a erros.

1.2 - Alguns Conceitos da Teoria do Consumidor

1.2.1 - Utilidade

Embora muito sugestivo para interpretações intuitivas, o conceito de "maior benefício possível" é bastante difícil de conceituar concretamente e bem mais difícil de medir nos fenômenos do mundo real. A função de bem estar social da economia clássica é definida a partir dos valores das funções de utilidade de todos os indivíduos da comunidade (aqui, indivíduos podem ser pessoas físicas, famílias ou grupos sociais). A utilidade é a medida da satisfação, consciente e racionalmente atingida ou não, na aquisição de determinado grupo de bens ou serviços (este grupo poderia ser representado por um vetor, cujos componentes seriam os vários bens ou serviços que o compõem).

Uma medida puramente cardinal da utilidade apresenta dificuldades do ponto de vista lógico sempre que se aplique simultaneamente a bens ou serviços de naturezas diversas. É que dificilmente encontramos, neste caso, uma entidade abstrata e quantificável, comum a todos esses bens e/ou serviços, e que possa a priori ser chamada de utilidade.

Suponhamos que uma função de utilidade geral, aplicável a todos os bens e serviços, exista, e esteja determinada. Aplicada essa função a uma quantidade x do bem ou serviço X e a uma quantidade y do bem ou serviço Y , ela determinará os valores numéricos de utilidade respectivos U_x e U_y , e teremos $U_x > U_y$, $U_x = U_y$ ou $U_x < U_y$. Esta relação de ordem exprimirá uma preferência do indivíduo como consumidor. Acontece que dado o par (x,y) , podemos supor, esta suposição tem base no que se observa no mundo real, que o indivíduo pode escolher entre os dois pacotes de bens ou serviços, comparando-os diretamente entre si. A escolha direta e a escolha feita através da função de utilidade podem coincidir. Mas a prática tem mostrado que é sempre possível determinar um par (x_p, y_p) de pacotes de bens ou serviços X_p e Y_p tais que os dois tipos de escolha sejam contraditórios, qualquer que seja a função de utilidade. Então, a menos que queiramos partir da função de utilidade como postulado, teremos que partir das relações de preferência formada pelos pares de pacotes.

Os trabalhos de Pareto, Slutsky e Hicks, levaram a uma reformulação do problema em que se renuncia a estabelecer uma medida cardinal geral de utilidade. O que se assume é que as utilidades dos grupos de bens ou serviços podem ser ordenadas. Vamos expor aqui os axiomas sobre os quais se apoia este modelo, chamado de Teoria Ordinal da Utilidade (Simonsen).

1.2.2 - Axiomas da Utilidade Ordinal

1. Ordenação. Dados dois vetores, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ e $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ de bens e serviços, um consumidor ou prefere Y a X ou é indiferente entre X e Y .

Usaremos a notação : $X > Y$ para X preferível a Y

$X < Y$ para Y preferível a X

$X \sim Y$ para X e Y indiferentes.

2. Não-Saciedade. Dados X e Y , suponhamos que as quantidades dos bens ou serviços de X em relação às de Y sejam sempre maiores ou

iguais, ou seja, $x_1 > y_1$, $x_2 > y_2$, ..., $x_n > y_n$ e pelo menos um $x_i > y_i$. Então, $X > Y$.

3. Concavidade Seccional. Dados X e Y , tais que $X \succ Y$, qualquer combinação linear de X e Y :

$$Z = \alpha X + (1 - \alpha) Y \text{ tal que } 0 < \alpha < 1$$

é preferível a X e a Y :

$$Z > X \text{ e } Z > Y$$

4. Continuidade. Dados X, Y, Z tais que $X < Z < Y$, existe um vetor W , $W = \alpha X + (1 - \alpha) Y$ tal que $W \sim Z$.

5. Diferenciabilidade. Pode-se construir uma função diferenciável $u(X) = u(x_1, x_2, \dots, x_n)$, com derivadas positivas em todos os seus pontos, tal que:

$$a) u(x_1, x_2, \dots, x_n) > u(y_1, y_2, \dots, y_n), \text{ se } X > Y$$

$$b) u(x_1, x_2, \dots, x_n) = u(y_1, y_2, \dots, y_n), \text{ se } X \sim Y$$

Esta última proposição torna possível a construção de medidas cardinais de utilidade, observando-se que o índice de utilidade - que construímos não será o único.

A construção de uma função cardinal de utilidade derivará primariamente do tipo de bens e serviços cuja utilidade estiver em questão.

Teoricamente, é possível levantar as curvas de indiferença de um consumidor entre um par de bens ou serviços A e B , dentro das quais é constante a utilidade (figura 1.2).

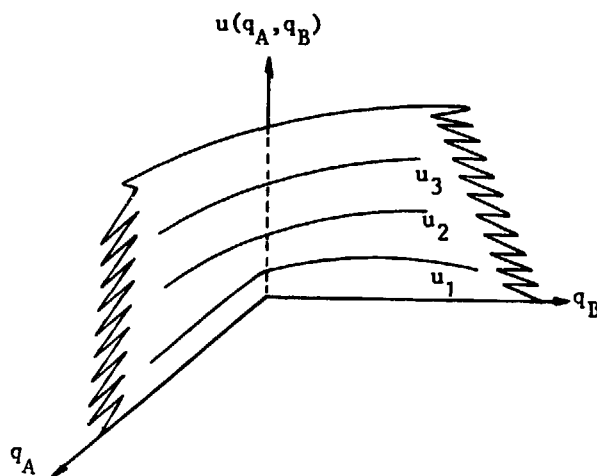


fig. 1.2.a. representação espacial

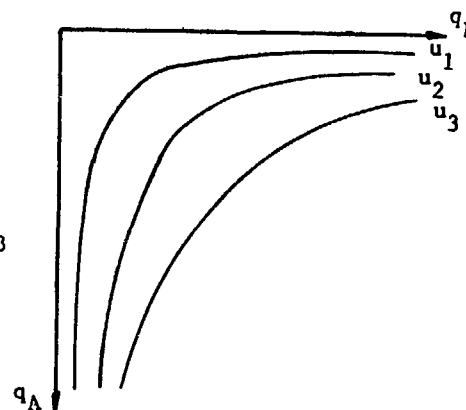


fig. 1.2.b. representação plana

figura 1.2. Curvas de Indiferença. q_A e q_B são as quantidades fornecidas dos bens A e B.

A partir das formas dessas curvas podemos determinar a função, de acordo com os cinco axiomas da teoria ordinal. Pode-se fazer a extensão para conjuntos de n bens ou serviços, e as funções $u = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ seriam levantadas a partir de hiperplanos de indiferença.

1.2.3 - A Função de Bem Estar Social (Welfare Function)

É uma função crescente das utilidades do conjunto dos indivíduos considerados como consumidores, utilidades estas que suporemos decorrentes de um determinado projeto governamental. Está claro que o relevante ao examinarmos um determinado projeto não é tanto um valor total da função de bem estar social, ou seja, o valor do bem estar social "atual" mais agregado pelo projeto, como o incremento que ela pode sofrer.

O primeiro problema que surge agora é como compor uma função de bem estar social a partir de utilidades individuais, sabendo que os indivíduos compõem uma sociedade heterogênea, com diferentes utilidades. Um artifício que podemos usar aqui é a divisão da sociedade afetada em estratos, supostamente uniformes, por região sócio-econômica ou por grupo social.

Suponhamos agora que foi escolhido um índice - por exemplo, o valor do consumidor (propensão a pagar) - para a medida cardinal da utilidade. Seja u_i essa utilidade, relativa ao indivíduo i , e c_i o valor do consumidor desse indivíduo; teremos :

$$u_i = M c_i$$

sendo M a utilidade marginal da renda, suposta constante tanto com respeito a preços como ao montante da renda do indivíduo.

A função de bem estar social é a soma das utilidades individuais :

$$S = \sum_i u_i = M \sum_i c_i = MC$$

onde C é o valor agregado dos consumidores.

Assim, o valor agregado dos consumidores é uma razão constante do bem estar social e esta razão constante é exatamente a recíproca da utilidade marginal da renda.

Para uma região ou grupo social j , dentro do qual supomos distribuição uniforme de renda, o benefício B_j será o valor agregado dos consumidores :

$$B_j = C_j = S_j / M = N_j c_j$$

com N_j = população da região ou número de pessoas do grupo social.

Dois critérios de benefício-custo citados por Simonsen , que comparam implicitamente os benefícios e custos são o critério de Pareto e o critério de Scitovski :

"Critério de Pareto : Uma distribuição A de mercadorias (e serviços) é preferível a uma distribuição B quando, ao passar de B

para A alguns indivíduos (pelo menos um) melhoram sem que nenhum piore de situação".

O critério de Scitovski procura superar a dificuldade surgida quando parte dos indivíduos melhora e parte piora de situação: "Uma distribuição A é socialmente preferível a uma distribuição B, se os ganhadores puderem subornar os perdedores de modo a convencê-los a aceitar a passagem de B para A, e ao mesmo tempo os perdedores não puderem subornar os ganhadores e convencê-los a ficar em B".

O suborno de que fala o critério de Scitovski é uma compensação (não completa, evidentemente) pela mudança ou pela permanência da distribuição primitiva. Uma dificuldade que aparece neste último critério provém do fato que se a compensação é realmente feita, caímos no critério de Pareto e que permanecendo hipotética, o critério de Scitovski pode levar ao agravamento de desigualdades na distribuição da riqueza. O caso dos projetos públicos que envolvem desapropriações ilustra esta discussão. Pelo menos no Brasil, é comum as autoridades optarem por uma solução intermediária entre compensar e não compensar, isto é, provar um suborno não completamente satisfatório às pessoas desapropriadas: Procura-se uma solução de compromisso entre cumprir à risca o preceito constitucional de que toda desapropriação deverá ser paga por justa compensação e o propósito de pagar o mínimo possível através do uso do poder econômico do governo e de uma interpretação unilateral desse mesmo preceito e das leis que o regulamentam. Evidentemente, pode haver critérios diferentes de pagamento a desapropriados, favorecendo por exemplo os indivíduos ou empresas de menor poder financeiro.

Como isto faz parte de uma política cujas motivações transcendem os particulares projetos onde ela se aplica, a análise custo-benefício pode evadir-se da questão simplesmente considerando como custos incorridos os prejuízos realmente sofridos por um grupo de indivíduos, chamando-os de custos sociais, independentemente de haver ou não, posteriormente, uma compensação satisfatória.

1.3 - Dimensões da Análise

1.3.1 - Uma, duas ou várias alternativas

No processo da análise custo-benefício escolhemos uma entre várias ações possíveis. Estas alternativas correspondem a um conjunto finito de valores de decisões-chave: que previsão de demanda levaremos em conta, que particular tipo de reator nuclear iremos usar para produzir energia em uma determinada central elétrica.

Se se trata do exame de um único projeto, as ações possíveis definem um espaço de dois elementos: $A = (0,1)$, onde 0 corresponde à ação (decisão) de rejeitar o projeto, e 1 corresponde à ação de aprová-lo. Se o estudo compreende um certo número de projetos alternativos, numeráveis por 1, 2, ..., n, podemos ter $A = (0,1,2,\dots,n)$ ou $A = (1,2, \dots,n)$.

Na maior parte dos casos, a alternativa ou ação 0 deveria ser tratada formalmente como um projeto alternativo. Isto é possível porque um projeto ao ser concebido sempre assume uma demanda virtual prevista, embora diversos graus de incerteza possam afetar a sua natureza e grandeza. E haverá, associada à satisfação dessa demanda, a geração de custos e de benefícios.

Assim, se o governo decidir não investir em um determinado projeto, a demanda a que ele se destinava cobrir poderá ser satisfeita por algum mecanismo que compreenda transferências de renda, ou investimentos privados - a um determinado custo para a sociedade. Conforme a natureza da demanda prevista, também o não-atendimento da mesma pode implicar em um custo de oportunidade. Por exemplo, a não realização de obras para a regulação dos fluxos de rios implica em uma certa probabilidade de inundações no futuro, cujos prejuízos podem ser estimados. A expectativa dos prejuízos nos dá uma estimativa do custo de oportunidade - das obras de regulação do fluxo do rio. Se levarmos em conta esse argumento, que frequentemente é relevante em projetos públicos, será preferível adotar um espaço de ações do tipo $A = (0,1,\dots,n)$.

1.3.2 - Variáveis características das alternativas

Elas correspondem às perguntas quando, onde, como e quanto, aplicadas ao projeto.

1. Tempo. Pode entrar na análise das seguintes maneiras:

- a) na determinação da data de entrada em serviço do projeto;
- b) na determinação do tempo de construção do projeto;
- c) na determinação da vida útil prevista para o projeto.

2. Localização. O local escolhido para os projetos pode afetar tanto os custos (de construção e de operação) do projeto, como os benefícios (que em muitos casos afetam mais, ou mesmo exclusivamente, a população vizinha ao projeto do que à generalidade da população - seja na forma de um crescimento local na oferta de empregos, ou da oferta dos serviços do projeto).

3. Tecnologia. O projeto pode usar :

- a) Uma entre várias concepções globais para atender à sua finalidade (por exemplo, vários tipos de centrais elétricas podem ser usados para atender a uma demanda de energia);
- b) Diferentes métodos de fabricação, montagem ou construção do projeto e de seus sistemas componentes;
- c) Diferentes proporções de uso de certas tecnologias, cujo desenvolvimento se deseja favorecer;
- d) Diferentes proporções no uso de tecnologia e componentes nacionais e importados.

4. Quantidade. A oferta de bens ou serviços pode variar dentro de uma certa faixa, de acordo com os limites da demanda prevista, para uma variedade de hipóteses adotadas.

1.3.3 - Alternativas no cálculo de custos e benefícios

Vimos acima o conceito de benefício como valor agregado dos consumidores. Filosoficamente, este conceito pode ser melhor descrito pelo seu outro nome - propensão a pagar dos consumidores : representa a quantia máxima que o consumidor está disposto a pagar para obter os bens e serviços a cuja produção se destina o projeto. Como o preço desses bens ou serviços é normalmente inferior ao valor do consumidor, surge aí uma diferença de valores, comumente chamada em economia de excedente do consumidor.

Na figura 3 (Chapman) estão mostrados os componentes do valor dos consumidores (supomos o bem ou serviço divisível).

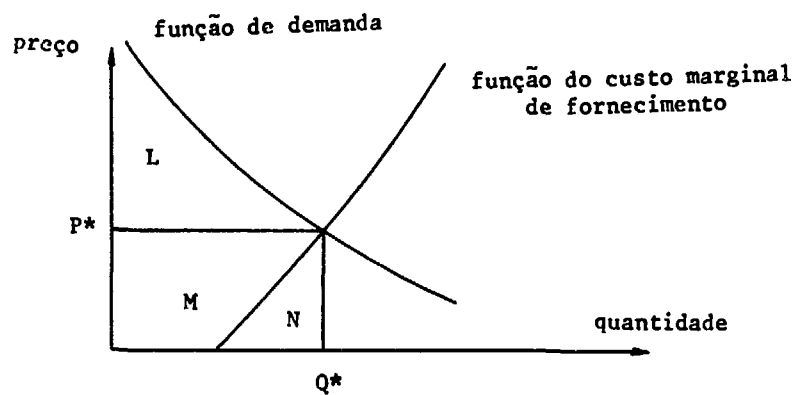


figura 1.3. Componentes do Valor do Consumidor

- P e Q : preço e quantidade considerados
- L : excedente do consumidor
- M : excedente do produtor
- N : custo variável total do produtor
- M + N : valor de mercado dos gastos do consumidor (retornos do produtor)
- L+M+N : valor do consumidor (propensão a pagar).

Considerando-se um grupo de pelo menos dois projetos alternativos (inclusive o caso $A = (0,1)$), há sempre um cujo custo é supre

mo, isto é, não é superado pelos demais. Pode-se considerar que o público, para não ser privado dos bens e serviços cuja demanda os projetos devem atender, está disposto a pagar até o preço mais alto entre as alternativas viáveis (ou o valor esperado do custo de oportunidade, no caso $A = (0,1)$). É este o valor geralmente adotado para avaliar o benefício em consumo agregado.

1.3.3.1 - O consumo agregado como critério para avaliação de benefícios.

O uso do consumo agregado para comparar benefícios pode levar a decisões viciadas em favor dos indivíduos ou comunidades de renda mais elevada, devido à sua hipótese, evidentemente irrealista, de constância da utilidade marginal da renda. Samuelson mostrou que essa proposição é teoricamente incorreta e não pode ser testada na prática. Um caminho para contornar essa dificuldade foi proposto por Chapman:

Uma função de utilidade do tipo de Cobb-Douglas, da forma:

$$u_i = A \cdot X_{1i}^{D_1} \cdot X_{2i}^{D_2} \dots X_{ni}^{D_n}$$

onde X_{ji} é o consumo do j ésimo bem ou serviço pelo i ésimo indivíduo e D_j é o expoente do bem ou serviço j , para todos os indivíduos, permite o uso do valor agregado dos consumidores, ponderado por renda.

Entretanto, a função de utilidade de Cobb-Douglas tem implicações que foram refutadas pela observação empírica (Brandow, Wold e Jureen, citados por Chapman). Chapman sustenta que, em vista da fragilidade teórica desses dois conceitos de benefício, o analista teria a liberdade de decidir abandonar o conceito clássico de valor agregado dos consumidores para adotar o segundo conceito, sempre que ele esteja motivado do ponto de vista ético a beneficiar, por exemplo, as populações de menor renda per capita na escolha de localidades para os projetos públicos de forte influência local.

A intenção é introduzir uma correção na função de benefi-

cio que dê preferência às comunidades mais pobres, quando o analista agsim o desejar. Mas o caminho que nos leva a esta opção, passando por duas negações, leva-nos mais logicamente a uma outra conclusão: a de que - deveria haver uma medida de benefício baseada em hipóteses teóricas corretas e verificáveis, e que beneficiasse as várias faixas de renda de acordo com uma escala de prioridades escolhidas pelo analista, ou, o que seria mais lógico, pelo poder político. Na realidade, a substituição do valor agregado dos consumidores clássico pelo valor agregado dos consumidores ponderado por renda, distorce as decisões em favor dos grupos de menor renda, mas essa distorção pode não ser na medida desejada a priori pelo analista ou planejador.

Além disso, há outras restrições e objetivos que podem entrar na análise, além da redistribuição do consumo agregado - e que não estão representadas na função de consumo agregado, como veremos mais adiante.

Fundamentalmente, o benefício de consumo agregado funciona como um índice da votação hipotética dos consumidores segundo as regras do jogo de mercado. Mas há outros fatores a levar em conta. Mesmo em países de distribuição de renda e de cultura (esta entendida em seu sentido mais amplo) mais uniforme do que o Brasil, os planejadores raramente podem limitar o seu universo de referência a esse índice. Em graus de intensidade bastante variados entram forçosamente outros fatores, tanto de ordem subjetiva - políticos, culturais - como de ordem objetiva - particularidades na disponibilidade de recursos, fatores demográficos, distribuição da renda. Entre os fatores políticos, é fundamental a existência (ou não) de um plano global ou de uma estratégia básica de desenvolvimento econômico.

É preciso, portanto, definir os objetivos que se pretende atingir ou favorecer, para depois estabelecer as funções de benefícios adequados. A sistemática proposta por Marglin, que descreveremos a seguir em linhas gerais, representa uma tentativa nesse sentido.

1.3.3.2 - Tipos de benefício, segundo Marglin

Partimos da hipótese de que os benefícios estão ligados a objetivos distintos, se bem que não independentes. Marglin enumera quatro objetivos:

- Consumo Agregado
- Redistribuição do Consumo
- "Intensão Meritória"
- Auto-Suficiência

O primeiro já foi examinado em sua generalidade em 1.3.3.1. Vejamos agora em maior detalhe como podemos introduzir o objetivo de redistribuição de renda no caso em que desejamos dar um tratamento especial a uma determinada área subdesenvolvida, como o Nordeste do Brasil. Podemos usar uma representação gráfica com os ganhos na região nordeste em abscissas e os ganhos em consumo agregado em ordenadas. As limitações tecnológicas devem definir um subespaço convexo das possibilidades, representado nos gráficos da figura 1.4 pela área sombreada. Ao mesmo tempo, o analista pode estabelecer curvas de indiferença entre os dois tipos de ganhos, ou isoquantas da função de bem estar social. Supondo-se a não saciedade das funções de bem estar social em relação aos dois tipos de ganhos, as isoquantas das funções de bem estar social devem determinar um ponto ótimo T, como indicado na figura 1.4a : o ponto está na isoquanta B_2 , que corresponde ao maior benefício obtível para as limitações do problema. Seguindo critérios provenientes de uma orientação mais geral, os gráficos 1.4b, 1.4c, 1.4d e 1.4e, mostram vários enfoques alternativos para tratamento de uma área especial em relação ao consumo agregado. As figuras sugerem a sensibilidade da proporção ótima entre consumo agregado e ganhos no Nordeste, à adoção de um ou outro critério.

Objetivo "Intenção Meritória". A expressão "merit-want", da qual traduzimos o nome deste objetivo, foi introduzida por Richard Musgrave e identifica os objetivos específicos cuja opção não traduz a votação econômica da população ativa, no jogo do mercado. Ou seja, é um objetivo adotado pelo planejador que nos traduz demandas inferidas indiretamente, sem consulta direta aos futuros consumidores. Um exemplo desse tipo de objetivo dá-lo por Marglin é o de transformar uma dieta inade-

Ganhos em Consumo Agregado

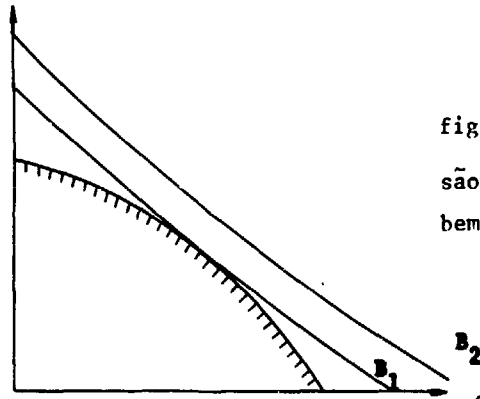
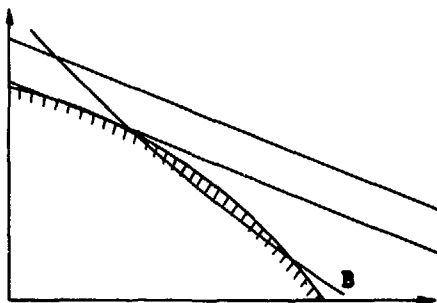


fig. 1.4.a. As curvas B_1 e B_2 são isoquantas da função de bem estar social.

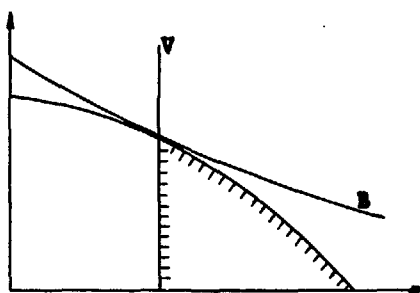
Ganhos em Consumo Agregado



Ganhos na Região Nordeste

fig. 1.4.b. Maximização restrita por uma soma ponderada de consumo

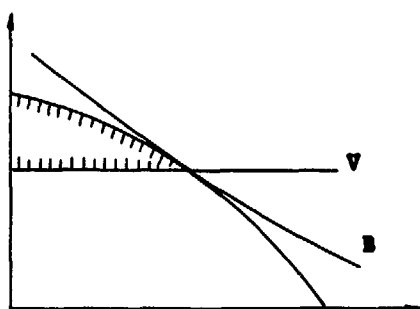
Ganhos em Consumo Agregado



Ganhos na Região Nordeste

fig. 1.4.c. Maximização sujeita a uma restrição de gastos mínimos no Nordeste

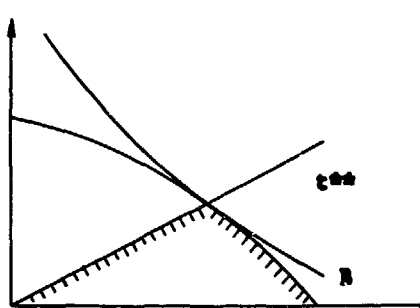
Ganhos em Consumo Agregado



Ganhos na Região Nordeste

fig. 1.4.d. Maximização sujeita a uma restrição de consumo agregado mínimo

Ganhos em Consumo Agregado



Ganhos na Região Nordeste

fig. 1.4.e. Maximização do consumo agregado sujeita a uma restrição na razão $t^{**} = \frac{\text{consumo do Nordeste}}{\text{consumo agregado}}$

figura 1.4. Consumo Agregado vs. Consumo no Nordeste (segundo Marglin)

quada, por exemplo, de uma região subdesenvolvida, em dieta equilibrada e abundante; este objetivo seria fixado em programas de valorização agrícola.

É evidente que ao atendermos às exigências de desenvolvimento de comunidades com grande desigualdade na distribuição da riqueza e da cultura estaremos sempre substituindo as tendências imediatas dos consumidores, ainda que por objetivos que contem com a aprovação política dos mesmos. Assim, a classificação "Intenção Meritória", deveria, do ponto de vista lógico, ser atribuída a toda análise feita nessas condições.

Tanto os objetivos de redistribuição de riqueza como o de auto-suficiência afastam-se da votação econômica dos consumidores no jogo do mercado, que só pode ser expressa pelo objetivo do consumo agregado. O grau e a forma de fixarmos os objetivos de redistribuição de riqueza e de auto-suficiência poderá ser influenciado pela vontade dos consumidores afetados; essa influência pode ser preponderante; mas a forma indireta pela qual a propensão do consumidor se fará sentir (através de pesquisas orientadas) e a introdução tanto necessária como inevitável de conceitos éticos e políticos, impõem a sua classificação dentro do critério de "merit-want".

O próprio objetivo do consumo agregado é afetado de julgamentos de valores: ao fixarmos uma taxa de desconto para comparações intertemporais de consumo agregado, estaremos substituindo os consumidores na avaliação de suas preferências quanto a consumir agora ou mais tarde.

Em resumo: sem querer afirmar que os outros tres tipos de objetivos esgotem as possibilidades, é preferível neste ponto simplesmente admitir que existem objetivos especiais, cuja natureza é determinada pelo tipo de projeto em estudo, em vez de postular uma categoria de objetivos cuja natureza é incerta e indefinida.

Auto-suficiência (ou balanço de pagamentos). Dadas as condições de distribuição da capacidade de produção, da tecnologia e do

poder econômico no mundo, não há sentido, mesmo para um país com as potencialidades do Brasil, em perseguir uma auto-suficiência absoluta. É que a busca da auto-suficiência, em termos de autarquia, pode implicar na diminuição do comércio exterior e de sua função no desenvolvimento. O processo de substituição de importações, que orientou o desenvolvimento econômico do Brasil (e de outros países da América Latina), até recentemente, chega sempre a um impasse, caso não seja reforçado por um aumento das exportações. Esta é uma das principais razões da estagnação da economia brasileira de 62 a 67 e da economia de tantos outros países latino-americanos atualmente.

Assim, um nome mais adequado para este item seria objetivo balanço de pagamentos, ou poder de compra exterior. Seu benefício é medido somando-se o valor das exportações que o projeto possibilita ao valor das importações que ele torna desnecessárias e subtraindo o valor das importações em que o projeto implica.

1.3.3.3. - Taxas de desconto para a avaliação intertemporal de custos e benefícios.

Sendo custos e benefícios em um projeto público dispendidos e produzidos através do tempo, eles não podem ter o mesmo valor se considerados em datas diferentes. O dispêndio de uma certa quantia feito agora para um determinado projeto implica na perda dessa mesma quantia para outras aplicações; se deixássemos o dispêndio para depois, poderíamos fazer outra aplicação do mesmo, provavelmente mais bem informada. Ou seja, permanecendo constante tudo mais, preferimos pagar depois. Quanto aos benefícios, consideramos que os que obtivermos agora são mais valiosos que benefícios futuros, porque com aqueles teremos melhores condições para obter estes. Além disso, quanto mais longe no tempo, mais incertos os custos e benefícios, e menor importância deve ser dada aos mesmos, na comparação entre projetos alternativos.

Estes efeitos são levados em conta aplicando-se uma taxa de desconto a custos e benefícios ocorridos em diferentes datas, de mo-

do que as suas medidas sejam referidas a uma determinada data, com um valor resultante tanto menor quanto mais afastada no futuro a data da ocorrência, da data de referência. Esse valor chama-se Valor Presente à Data de Referência .

O valor da taxa de desconto.

Se a motivação para o uso de taxas de desconto é bastante intuitiva, como vimos acima, já a determinação de seu valor não o é tanto. E constitui um dos problemas mais sérios da análise custo-benefício, devido à sensibilidade que os seus resultados mostram mesmo a variações moderadas no valor da taxa. Vejamos inicialmente o conceito geral de taxa de desconto, baseado em nossas preferências intertemporais previamente fixadas.

Chamando-se de λ_t o peso relativo que atribuímos aos benefícios e custos do ano t , vamos supor que o investimento de k cruzeiros tenha sido dispendido no início do projeto e que B_t seja o incremento líquido ao consumo agregado obtido no ano t . A contribuição ao consumo agregado, nesses termos, obedece à expressão :

$$C = \sum_{t=1}^{\infty} \lambda_t B_t - \lambda_0 k$$

substituindo $r_t = \frac{\lambda_t - \lambda_{t+1}}{\lambda_t}$ e supondo r_t constante e $\lambda_0 = 1$, temos :

$$C = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{B_t}{(1+r)^t} - k$$

O valor geralmente usado para r é a taxa marginal interna de retorno do setor privado, ou seja um valor $r_t = r$, tal que

$$\sum_{t=1}^{\infty} \frac{B_t}{(1+r)^t} - k = 0, \text{ com } B_t \text{ e } k \text{ referentes ao se-}$$

tor privado.

Entretanto, o tipo de projetos geralmente atribuídos à competência do poder público costuma ser bem diferente daqueles que são objeto de investimentos privados e os critérios de decisões do governo como investidor, tenderão a diferir dos critérios dos indivíduos frente ao mercado de capitais. Sem considerar que o investimento pode ter como alternativa também o consumo imediato, cuja escala de preferências intertemporais é mais diferente ainda.

Na realidade, uma taxa de desconto social perfeita \bar{r} somente poderia ser inferida das preferências intertemporais de consumo que o planejador avalia, em nome da sociedade. Ela será maior ou menor que a taxa marginal de retorno de consumo ao investimento se a taxa geral de investimento for inferior ou superior ao seu valor ótimo, calculado em termos do objetivo de consumo agregado. E, no caso geral, a taxa geral de investimento difere bastante da ótima, mesmo considerando que esta não tem um valor muito fácil de determinar.

Se a taxa social de desconto \bar{r} diferir da taxa marginal de retorno do consumo agregado, então o valor nominal de fundos do investimento público de 1 cruzeiro deveria ser substituído por um "preço-sombra" (ou custo de oportunidade) que reflita o valor presente, avaliado à taxa social de desconto, da corrente de consumo que o uso alternativo privado da entrada do valor de 1 cruzeiro no investimento público geraria. Então, em função do mesmo objetivo (máximo consumo agregado) reescrevemos a função :

$$\frac{B_t}{(1+\bar{r})^t} - ak$$

sendo \bar{r} a taxa social de desconto e a o custo de oportunidade por cruzeiro investido.

Se foi investida a parcela "a" no projeto público, esse

investimento está substituindo dois outros usos do dinheiro :

$$a = P + C$$

sendo P os recursos do setor de investimento privado deslocados e que gerariam uma corrente futura de consumo agregado. E sendo C o consumo agregado privado imediato que foi deslocado.

P pode ser calculado pela expressão $P = \frac{\Theta \rho}{\bar{r}}$, onde ρ é

a percentagem do desembolso em investimento privado que representa o consumo agregado gerado, isto é, é a taxa social de retorno do consumo agregado, ao investimento privado; e Θ é a parte do investimento privado deslocado por 1 cruzeiro de investimento público, $0 < \Theta < 1$.

$(\frac{\rho}{\bar{r}})$ será o valor presente (à taxa social geral de des-
conto \bar{r}), da corrente perpétua de consumo de ρ cruzeiros por ano e $\frac{\Theta \rho}{\bar{r}}$

a perda de deslocamentos de investimento, causada por cada cruzeiro de investimento público e $(1 - \Theta)$ é a porção do investimento público que - desloca o consumo privado diretamente.

O valor a define a mínima razão custo-benefício que um incremento ao programa do setor público deve ter para qualificar-se quando o objetivo do consumo agregado é o principal.

Aqui cabem duas observações :

1. A redução de investimento privado como consequência da expansão do investimento do setor público, pode ser minimizada através - de uma política fiscal e monetária adequada do governo.

Quando se mobilizam no investimento público recursos que de outra maneira permaneceriam ociosos, o custo de oportunidade será menor. Se mobilizarmos recursos parcialmente ociosos, a fórmula de "a" muda para :

$$a = \frac{\Theta \rho}{\bar{r}} + \Theta^*$$

onde Θ^* representa o consumo privado deslocado e $1-(\Theta-\Theta^*)$ é a parte de recursos que de outro modo permaneceriam ociosos que cada cruzeiro de investimento público geraria. Θ pode ser negativo (Marglin).

1.3.3.4 - Valores Sociais dos Custos e Benefícios.

Uma vez que os projetos em análise sejam públicos, os valores do mercado de custos e benefícios devem ser corrigidos de modo a passarem a exprimir seu efeito na sociedade como um todo. Vejamos alguns ajustes que podem ser feitos :

1. A influência dos impostos no custo social do capital. Sempre que os impostos tenham uma forte influência sobre o custo do financiamento e da atividade produtiva do projeto é preciso considerá-los como parte dos benefícios brutos do projeto. Entram, portanto, no cálculo do rendimento esperado.

2. Câmbio Social. Quando parte do projeto depende da importação de bens de capital ou de materiais, é preciso levar em consideração sua influência sobre o balanço de pagamentos. Vimos mais atrás que este pode ser um dos critérios para a avaliação de projetos alternativos.

Um dos ajustes a realizar provém da existência de dois tipos de câmbio de divisas em países como o Brasil : o câmbio oficial e o câmbio livre (ou câmbio negro) ou da existência de tarifas alfandegárias.

Se formamos um mercado único que congregue o oficial e o livre, somando membro a membro as curvas de oferta e de demanda dos dois mercados, novo ponto de equilíbrio dá o valor do dólar social.

O dólar social terá um valor intermediário entre o livre e o oficial, que será calculado a partir de uma soma ponderada das razões de preços das principais mercadorias importadas, em cruzeiros (já com as tarifas) por dólares antes das tarifas. A este valor social do dólar são calculados os custos de equipamentos e de materiais importados - superiores aos que seriam calculados a partir dos valores do câmbio ofi-

cial.

3. O Preço Social da Mão de Obra. Quando há grande desemprego, real ou disfarçado (subemprego), os salários reais pagos num projeto público frequentemente não refletem a produtividade social marginal da mão de obra. É que pressões dos sindicatos e regulamentação dos governos colocam os salários efetivamente pagos acima de seu valor de mercado. Como nos países subdesenvolvidos quase sempre o desemprego e o subemprego são endêmicos, há uma corrente de analistas que tende a considerar nulos os salários sociais nesses países.

Realmente, quando o desemprego atinge a uns 25% da mão de obra, pode-se considerar o salário social nulo. A taxas menores de desemprego, entretanto, ou quando o problema é exclusivamente de subemprego, é mais correto substituir o salário efetivamente pago no projeto pelos ganhos mínimos alternativos da mão-de-obra. Isto é, se a mão-de-obra a ser contratada provém do campo, seu salário social será o seu salário de camponês, adicionado ao valor dos benefícios de uso da terra de que eventualmente desfrute.

Se estamos, por outro lado, contratando contingentes de desempregados, o salário social pode ser o correspondente às despesas de assistência ou salário-desemprego que eles recebiam.

Efeito multiplicador. No caso de o projeto contratar mão de obra anteriormente desempregada, pode-se considerar como benefício o efeito multiplicador que um aumento da renda disponível produz na economia. Isto vale tanto para a mão de obra diretamente contratada no projeto, como para a que seja mobilizada em virtude do crescimento da demanda de materiais e insumos para o projeto.

Salário social maior do que o salário real. Se apenas uma fração $(1 - \theta)$ das novas demandas de consumo dos ex-desempregados é obtida transferindo bens de consumo de outro lugar, o restante θ é obtido substituindo o investimento privado com a produção de bens de consumo - e o efeito líquido do trabalho será de reduzir o investimento privado de θ

e incrementar o consumo do mesmo valor θ . O custo de oportunidade na contratação de um trabalhador, o salário social, será, então,

$$w^* = \left(\frac{\theta p}{r} + \theta^* \right) w = \left(\frac{\theta p}{r} - \theta \right) w = \left(\frac{p}{r} - 1 \right) w \text{ e } w^* \text{ será neste -}$$

caso, maior que w .

4. Valor Social dos Insumos de Materiais. O valor social dos insumos de materiais é diferente do valor de mercado devido a dois efeitos: os impostos e o deslocamento da curva de demanda.

Os impostos elevam o valor dos insumos, mas a sua cobrança é feita - pelo menos em parte - em benefício da sociedade; o valor social dos insumos deve ser, portanto, um pouco inferior ao real.

Quanto ao deslocamento da curva de demanda, ele causa um custo de oportunidade em outros setores da economia, devido ao encarecimento e diminuição da quantidade disponível total dos materiais.

O valor social dos insumos calculado a partir do seu valor de mercado e ajustado dos efeitos de impostos e de deslocamento da demanda, dependerá do tipo de oferta desses insumos. Se perfeitamente e lástica, o custo social será o custo de mercado subtraído do valor dos impostos; se completamente rígida, o preço será o real, mas haverá um custo de oportunidade a esse preço provocado pela diminuição do fornecimento aos outros setores da economia. Se a oferta tiver uma curva ascendente teremos os dois efeitos simultaneamente. (Harberguer).

1.3.4 - Espaço de Ações, Critérios de Avaliação, Objetivos. Uma Digressão.

Antes de irmos mais adiante, convém entrar em uma pequena discussão sobre a lógica interna da Análise Custo-Benefício.

Qualquer Análise Custo-Benefício é antes de tudo um modelo de decisão. Seus elementos essenciais são :

- Uma hipótese básica que define o problema a ser estudado e seu objetivo (por exemplo, a implantação da indústria nuclear brasileira).

- Um conjunto (discreto ou contínuo) de ações possíveis - os projetos alternativos - das quais devemos selecionar uma.

- Um conjunto de funções de variáveis de estado, chamadas critérios de avaliação. Essas variáveis podem tomar valores determinísticos ou estar expressas por distribuições de probabilidades, avaliadas - por processos mais ou menos subjetivos.

A definição desses dois conjuntos - o de ações e o de critérios de avaliação - nunca é direta; o seu delimitamento constitui talvez o problema mais crucial da análise custo benefício, pela diversidade de formas que podem ser assumidas.

Normalmente, o conjunto de ações (definido como discreto ou num contínuo) corresponde a opções técnicas, ou seja, como atingir o objetivo do ponto de vista das técnicas a serem empregadas. Por seu lado, os critérios de avaliação exprimem como atingir o objetivo, do ponto de vista de seus resultados observáveis, ou seja, explicitam o objetivo em uma série de índices de valor previsível, e mensuráveis no projeto quando de sua exploração.

Nada impede, entretanto, que o conjunto de critérios se transforme em um conjunto de ações (procura de valores ótimos, segundo os critérios) e que o conjunto de ações passe a determinar critérios de avaliação. O exemplo da Indústria Nuclear pode ilustrar esta dualidade.

Nela, podemos definir como objetivo básico atender à demanda prevista de energia elétrica no futuro. Este objetivo está limitado por um conjunto de restrições tecnológicas e de disponibilidade de recursos e implica, conseqüentemente, em uma série de objetivos derivados, como a obtenção de energia elétrica a baixos custos e o uso eficiente dos

recursos disponíveis.

Do ponto de vista técnico ("como fazer"), as possíveis opções são: tipo ou tipos de tecnologia a usar no projeto (tipo de central elétrica nuclear, grau de automação das fábricas de componentes, método de extração dos metais nucleares); escala temporal da evolução do projeto; delimitação dos campos de ação de empresas do governo e de empresas privadas; etc..

Os critérios de avaliação medem a performance do projeto em relação aos seus objetivos. Mede-se o benefício do crescimento da oferta de energia elétrica, os custos incorridos no projeto, a robusteza do plano (medida subjetiva da expectativa do essencial do plano permanecer, considerando as mudanças possíveis da natureza) e os benefícios secundários.

Esta é a forma mais usual e direta. Mas poderíamos muito bem inverter a posição dos conjuntos de critérios e de ações. Ou seja, a forma do benefício decorrente do aumento da oferta de energia elétrica - pode ser considerada a variável de ação: atender a uma demanda prevista no seu nível mínimo, ou oferecer uma quantidade maior de energia elétrica a favorecer níveis mais altos de demanda, por exemplo, através de tarifas mais baixas ou de condições facilitadas de ligação e fornecimento. O espaço de ações passou no caso a ser o conjunto de valores de benefícios. Igualmente o custo esperado da energia elétrica poderia constituir o espaço de ações.

As opções técnicas entram aqui para satisfazer os resultados no novo espaço de ações. Como sua performance é parcialmente incerta, ela está sujeita a avaliações em parte subjetivas - e os critérios de avaliação das opções técnicas e tecnológicas passam a ser os critérios de avaliação do projeto.

Esta dualidade nunca foi usada, nem reconhecida claramente, nas análises custo-benefício, feitas até esta data. Entretanto, ela permeia toda avaliação deste tipo, e o mero reconhecimento de sua existência poderá ser de grande utilidade no delineamento das análises. Lembremos, por ora, que os aspectos qualitativos do problema tendem a materializar-se no espaço de ações, enquanto os aspectos quantitativos tendem a ser descritos pelos critérios de avaliação.

2a. Parte : Um modelo a níveis discretos de avaliação custo-benefício, para a Indústria Nuclear -

Creemos que um modelo de avaliação de um projeto como o da indústria nuclear do Brasil deve, na medida do possível :

- incorporar todas as possibilidades alternativas de desenvolvimento, tanto em relação às metas como em relação aos meios para chegar a elas.

- incorporar todas as incertezas de estimação que afetam qualquer programa desse tipo, na evolução tanto dos custos de insumos básicos como da viabilidade técnica.

- possibilitar uma avaliação global, como uma hierarquia entre os critérios que reflita uma hierarquia de valores de maneira explícita (e portanto facilmente modificáveis).

- ter uma estrutura flexível, de modo a permitir a sua utilização como ferramenta de controle, acompanhando a evolução do projeto, com o passar do tempo.

- incorporar todo tipo de critério de avaliação relevante em relação ao projeto.

Nossa proposta para atender a todos estes requisitos é a adoção de um modelo de contagem, ou de níveis discretos, que atribui notas, representadas por números inteiros, aos projetos alternativos, segundo funções pré-estabelecidas, correspondentes aos vários critérios de avaliação.

2.1 - Aplicação do modelo

Esquematizamos o procedimento no fluxograma da figura 2.5

Os tres tipos de critérios de avaliação que usaremos : benefícios, custos e critérios de avaliação intrínseca recebem os seus pesos de acordo com uma avaliação subjetiva prévia de sua importância para

a classificação das ações do espaço. A particular feição do problema é que determina quais os critérios que serão relevantes na análise.

As alternativas do espaço de ações podem ser apresentadas para um conjunto de níveis de estados da natureza, com cada estado da natureza gerando o seu conjunto de ações. Pode ser muito importante admitir vários valores para o estado da natureza imperfeitamente conhecido, como as previsões de demanda de energia e quanto ao sucesso de uma tecnologia ainda não suficientemente provada. Em cada um desses níveis cabe uma série de opções que definem os planos alternativos.

As funções de avaliação podem ser classificadas, a grosso modo, em tres categorias :

1) Funções Simples de Avaliação - Como a função de consumo agregado ou de custos de capital. Parte-se de valores considerados certos ou muito prováveis que levam à atribuição direta de uma nota ao plano.

2) Funções de dados aleatórios. Quando os critérios de avaliação dependem de dados que são considerados variáveis aleatórias, seus índices via de regra serão variáveis aleatórias também. Conforme a particular função que estejamos examinando, o nível será atribuído pela média ou por uma medida da dispersão da distribuição desses índices.

3) Funções de vários sub-critérios. Neste caso é preciso compor as avaliações correspondentes aos sub-critérios para obter a avaliação do critério. Há dois modos de fazê-lo :

- A função de avaliação é uma função matemática dos vários índices de avaliação pelos sub-critérios (por exemplo, uma transformação linear da soma ponderada).

- A função de avaliação parte de uma escala de classificação das ações obtida a partir de comparações das mesmas, duas a duas, sob os vários sub-critérios, e então manipulando relações de concordância e de discordância entre essas "sub-classificações" (por exemplo, aplicando

o método Electre) - (Roy).

Vamos seguir, por ora, o roteiro sugerido pela figura 2.5. Mais adiante, entraremos em algum detalhe sobre a forma das funções de a valiação.

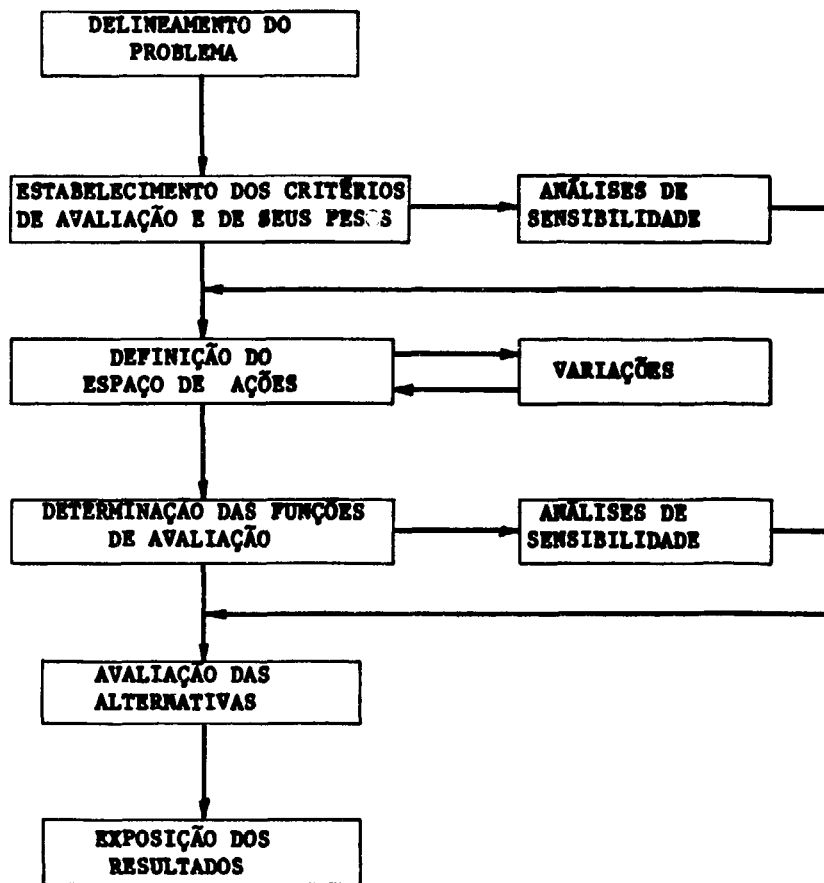


figura 1.5. Fluxograma de Aplicação do Modelo

2.2 - A Indústria Nuclear Brasileira. Delineamento Geral do Problema e Objetivos.

Repetimos aqui a definição que adotamos da indústria nuclear para este trabalho: o conjunto formado pelas centrais elétricas nucleares e os fabricantes dos principais sistemas que compõem essas centrais, além dos fornecedores de combustíveis nucleares e de materiais especiais para esses sistemas.

A rigor, deveríamos incluir dentro desse conceito as outras aplicações da energia atômica, como a produção e aplicação de radioisótopos para a indústria e para a medicina, e o uso civil de explosivo atômico. Não o fizemos aqui porque a geração de energia elétrica constitui em si um problema à parte, com implicações e características próprias.

No Brasil a indústria nuclear pode ser considerada ainda praticamente inexistente. Fora a produção de radioisótopos para a indústria e para a medicina, que já excluimos do nosso campo de análise, as atividades do que se pode chamar de indústria nuclear têm se concentrado na prospecção de minérios de interesse no campo nuclear e na extração de pequenas quantidades de urânio e de tório - os dois combustíveis nucleares naturais - para pesquisas. No campo de Agostinho, Poços de Caldas, está-se desenvolvendo um projeto de extração de urânio, cujas reservas são estimadas atualmente em cerca de 3000 toneladas de U_3O_8 , quantidade ainda muito pequena para as necessidades futuras desse metal, embora suficiente para os primeiros anos de operação dos reatores nucleares de potência.

Ao mesmo tempo, há um esforço de formação de pessoal para a indústria nuclear. Tres institutos de pesquisas - O Instituto de Energia Atômica, de São Paulo; o Instituto de Engenharia Nuclear, do Rio de Janeiro e o Instituto de Pesquisas Radioativas, de Belo Horizonte, coordenam cursos de mestrado em engenharia nuclear e em física nuclear, e cursos de especialização para técnicos de nível médio, que deverão fornecer os quadros nacionais para os futuros programas da indústria nuclear. Esses institutos também desenvolvem pesquisas encomendadas pela Comissão

Nacional de Energia Nuclear, à qual estão ligados.

Recentemente, em 19 de dezembro de 1971, foi criada a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, destinada a explorar as jazidas de minerais de interesse para a energia nuclear e a fornecer no futuro equipamentos e materiais para as Centrais Elétricas Nucleares (CEN).

Entretanto, pouca coisa está definida em relação a que tipo de evolução terá a indústria nuclear como um todo. Programar os investimentos dos próximos 20 ou 30 anos, no campo da energia nuclear é tarefa extremamente complexa e sujeita aos mais variados erros. O presente - trabalho tenciona ser uma ferramenta para auxiliar nessa tarefa, de modo que ela possa ser feita num campo um pouco mais iluminado. Antes disso, entretanto, tracemos um esboço geral do que vem a ser a indústria nuclear nos países que já a têm relativamente desenvolvida, e que já fazem uso comercial da energia nuclear. Escolhemos como modelo os Estados Unidos, por vários motivos : são o país de maior potencial economico - portanto com maiores possibilidades de desenvolver paralelamente todas as estratégias economicamente viáveis - têm sido tradicionais fornecedores de equipamentos de tecnologia sofisticada para o Brasil e, particularmente importante no caso, têm a mais completa documentação atual sobre a sua indústria nuclear.

2.2.1 -Um esboço da Indústria Nuclear.

A principal motivação para o desenvolvimento dos reatores nucleares destinados à produção de energia desde a 2a. Guerra Mundial - foi a constatação de que as tradicionais fontes de energia - as usinas térmicas a combustíveis fósseis e as usinas hidroelétricas - não mais - podiam ser consideradas como fontes inesgotáveis, se confrontadas com a evolução esperada da demanda de energia elétrica. Prevê-se que a produção de petróleo deve atingir o seu ápice no fim deste século, passando a declinar e que o carvão destinado às usinas termoelétricas ficará progressivamente mais caro. Por outro lado, os potenciais hidroelétricos ainda não aproveitados no mundo situam-se principalmente em regiões subdesenvolvidas e deverão estar sendo plenamente utilizados por volta de 1990.

Esta situação levou a um enorme esforço de pesquisas e de desenvolvimento em busca da aplicação prática da única solução que na época (e ainda hoje) pareceu viável : o aproveitamento da energia liberada na fissão de certos isótopos de metais que ocorrem na natureza, como o urânio e o tório, e do plutônio, um elemento transurânico obtido em certos tipos de reatores nucleares. Deste esforço resultaram as concepções de reatores de potência hoje já em uso comercial ou em desenvolvimento , para uso no futuro. Os Estados Unidos, União Soviética, França e Grã-Bretanha vêm liderando esse esforço, que vem crescendo progressivamente também na Alemanha Ocidental, no Canadá e no Japão, na Suécia e alguns outros países da Europa.

2.2.1.1 - A Central Elétrica Nuclear.

Compõe-se de duas partes principais : o sistema nuclear de fornecimento de vapor e o sistema turbina-gerador. No sistema nuclear de fornecimento de vapor (SNFV), o calor gerado no núcleo ou caroço do reator (parte onde se dão as reações de fissão nuclear) é retirado por um fluido refrigerante, o qual por sua vez vai gerar vapor em trocadores de calor; este vapor acionará as turbinas. Pode haver também um ciclo direto: neste caso o próprio fluido refrigerante irá acionar as turbinas.

O fluido refrigerante do núcleo do reator pode ser água comum tratada (água leve), gás dióxido de carbono ou hélio, ou um líquido orgânico, ou ainda, um metal líquido (sódio) ou sal fundido (mistura de sais de urânio, berílio e lítio). Nos chamados reatores térmicos ou lentos, as fissões se dão com neutrons de baixa energia e um componente essencial é o moderador, cuja finalidade é baixar o nível de energia dos neutrons antes das reações de fissão. O moderador pode ser a grafite, a água pesada ou água leve. Atualmente há em operação em escala comercial apenas reatores térmicos. Uma outra linha de reatores, os reatores rápidos, onde as fissões se dão com neutrons de alta energia (ou rápidos) está atualmente em desenvolvimento em vários países; estes reatores não possuem moderador.

A opção reator térmico - reator rápido, o tipo de modera-

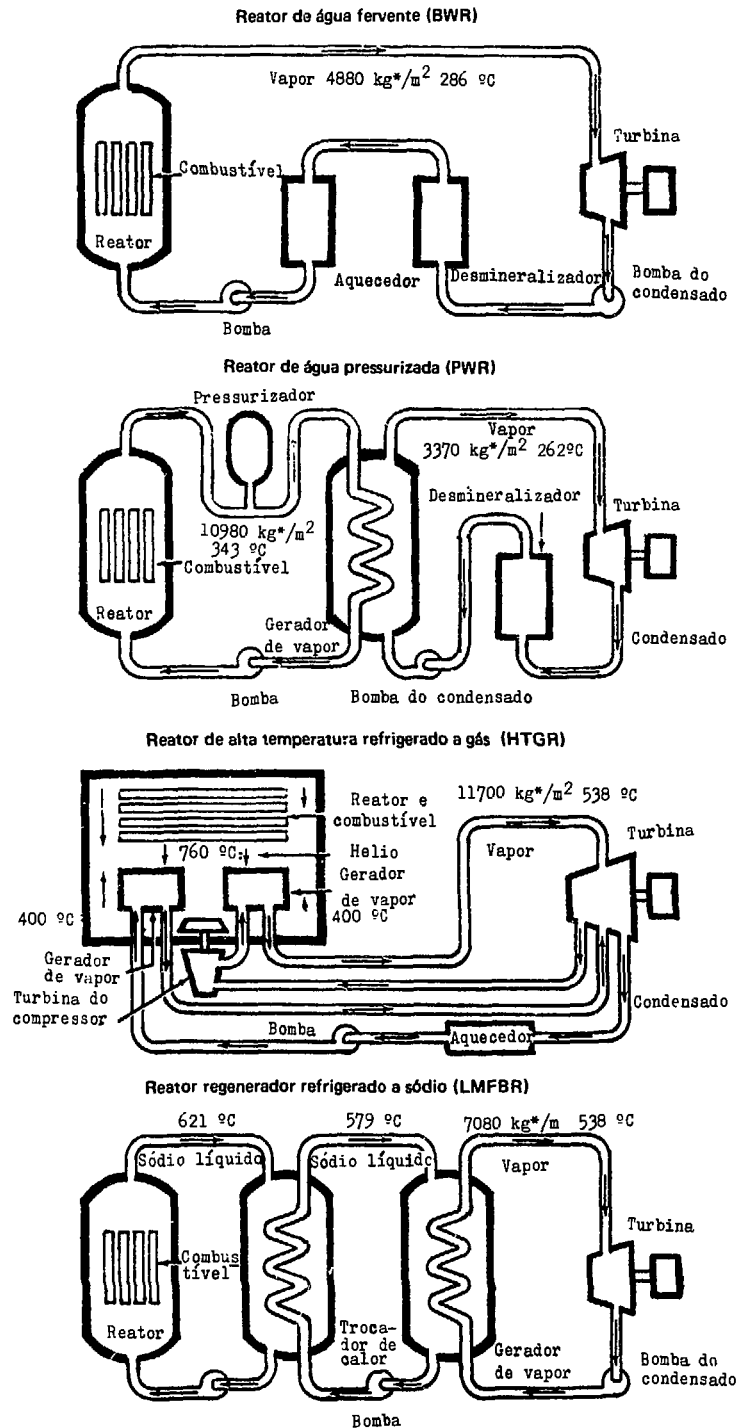


Figura 2.6 - Sistemas de Reatores Nucleares para Geração de Energia Elétrica (Arthur D. Little)

dor usado e o tipo de refrigeração usada, mais o tipo de combustível usado, caracterizam a concepção da CEN. As principais concepções em operação comercial atualmente são :

- O reator de água leve fervente - BWR (boiling water reactor);
- O reator de água leve pressurizada - PWR (pressurized water reactor);
- O reator de água pesada refrigerado a água leve - HWR (heavy water reactor);
- O reator gerador de vapor moderado a água pesada - SGHWR (steam generating heavy water reactor);
- O reator refrigerado a dióxido de carbono e moderado a grafite - Magnox e AGR (advanced gas-cooled reactor).

As duas primeiras são as concepções atualmente usadas comercialmente nos Estados Unidos.

Encontram-se em desenvolvimento, devendo o primeiro reator de demonstração (já em escala comercial) entrar em operação em 1972, os reatores refrigerados a hélio e moderados a grafite - o HTGR americano (high temperature gas-cooled reactor) e o AVR alemão.

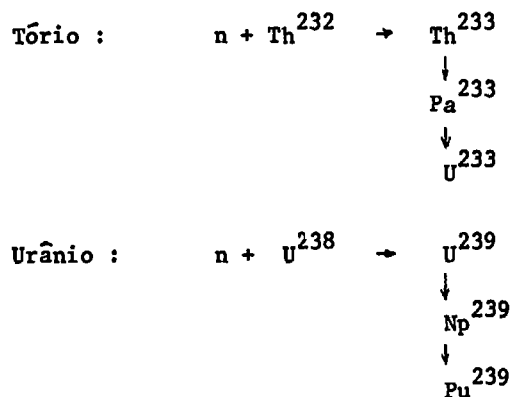
Em fase mais verde de desenvolvimento encontram-se ainda os reatores rápidos FBR (Fast Breeder Reactor), que podem ser refrigerados a sódio líquido, hélio ou vapor - respectivamente LMFBR (Liquid metal fast breeder reactor), GCFR (gas-cooled fast reactor), SCFR (steam cooled fast reactor) e o reator regenerador térmico MSBR (molten salt breeder reactor). Dentre todos, o que tem maiores possibilidades de se universalizar é o LMFBR (isto em face da experiência hoje disponível). Os primeiros reatores de demonstração desta concepção deverão entrar em operação no início da década de 1980.

O que determinará, nos países avançados, a evolução tecnológica dos reatores em termos das concepções que enumeramos acima será, além de sua viabilidade operacional, o custo de capital das CEN e a bus-

ca do melhor uso do combustível nuclear. De uma maneira resumida, exporemos agora algumas feições gerais do problema dos combustíveis nucleares.

2.2.1.2 - O Ciclo do Combustível.

Nos combustíveis nucleares para reatores de potência estão presentes sempre dois tipos de nuclídeos (nuclídeo : tipo de núcleo identificado pelo isótopo) : os nuclídeos físséis, que podem sofrer a reação de fissão com os neutrons térmicos em que se gera energia, e os nuclídeos férteis, que podem transformar-se em físséis depois de uma série de reações que se seguem à absorção de um neutron. Na natureza existe um único núcleo físsil, o U_{235} , presente no urânio natural na proporção de 0,71% para 99,29% de U_{238} . E há dois núcleos férteis, o U_{238} e o Th_{232} . Ambos transformam-se em núcleos físséis por absorção de um neutron e posterior decaimento, como segue :



Os ciclos são geralmente identificados pelo material fértil inicial. Assim o primeiro destes ciclos é o ciclo do Tório, o segundo é o do Urânio.

Os nuclídeos físséis secundários formados nessas reações podem ser reciclados juntamente com material fértil (ou uma mistura fértil e físsil) novo, depois de uma série de operações físicas e químicas,

cujo conjunto leva o nome de reprocessamento. A quantidade de material físsil no combustível que depois de irradiado é descarregado, dividido - pela quantidade de material físsil primitivamente existente nesse mesmo combustível é uma importante característica de operação de um reator. Chama-se Razão de Conversão e pode ser inferior, igual ou superior à unidade. No primeiro caso, o reator é chamado de conversor; nos dois últimos, de regenerador (alguns autores nacionais usam o termo superconversor. Todos os reatores térmicos, com exceção do MSBR, são conversores. O MSBR e os reatores rápidos em geral são regeneradores.

Para cada tipo de reator, há um ciclo que utiliza melhor as suas características. Razões de Conversão típicas e ciclos de combustíveis de alguns reatores são dados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Razões de Conversão Médias Típicas (USAEC-5)

	Razões de Conversão	Ciclo
LWR	0,5	Urânio
HTGR	0,75	Tório
FBR	1,3 a 1,5	Urânio

A relativa escassez de depósitos de urânio exploráveis a baixo custo faz com que sejam mais desejáveis os reatores cujo ciclo de combustível apresente razões de conversão mais altas. Como, entretanto, os reatores rápidos regeneradores devem usar como material físsil inicial preferivelmente o Pu^{239} e esse material é produzido principalmente em reatores de água leve, uma combinação desses dois tipos de reatores ao longo de um período de algumas décadas acaba sendo uma proposta lógica. Uma otimização do uso do ciclo de combustível num período de 50 anos, para uma estratégia de energia nuclear baseada em LWRs e LMFBRs, usando programação linear, determinou para os Estados Unidos uma sequência de construção desses dois tipos de reatores (supondo-se que os LMFBRs só se construam comercialmente a partir de 1984) que permite o menor consumo

de urânio entre todas as estratégias viáveis. Os LMFBRs começariam a operação usando Pu acumulado na operação dos LWRs nos anos anteriores. Uma otimização semelhante (Souza) foi feita para o Brasil, para o conjunto BWR+LMFBR e para o conjunto SGHWR+FBR. Na figura 2.6 estão mostrados alguns programas de instalação de centrais elétricas nucleares.

Já o HTGR deve utilizar o ciclo do tório, e o U^{233} produzido como material físsil secundário não deve dar bons resultados com reatores regeneradores rápidos, devendo ser reciclado em HTGRs. Devido a isto, nos Estados Unidos os programas LWR+FBR e o programa HTGR são considerados alternativas concorrentes.

Cada um dos tipos de reatores acima mencionados pode vir a ser utilizado no Brasil. Um deles foi escolhido para a 1ª central nuclear - o PWR de Angra dos Reis. A fabricação ou construção de cada um dos sistemas componentes de qualquer central nuclear exige investimentos altamente concentrados e competência tecnológica e capacidade administrativa comparáveis às das grandes organizações que já operaram nesse ramo nos países industrialmente mais avançados.

2.2.1.3 - Os Setores da Indústria Nuclear Brasileira.

A Indústria Nuclear compõe-se de vários setores que podem produzir mais ou menos independentemente uns dos outros, e que englobem dentro de si, cada um, operações bastante interdependentes. Neste trabalho, partimos da hipótese que no Brasil, a indústria nuclear se desenvolverá por setores, e não segundo um modelo integrado.

De acordo com esse critério, relacionamos os setores principais da indústria nuclear:

- 1) Produção de energia elétrica nas centrais elétricas nucleares;
- 2) Prospecção, mineração e concentração do urânio, do tório e de outros metais e minerais de uso da indústria nuclear. Preparação do urânio;

- 3) Enriquecimento do urânio;
- 4) Fabricação dos elementos combustíveis. Recuperação de sucatas. Reprocessamento de combustíveis. Separação de produtos de fissão;
- 5) Fabricação de vasos de pressão para os reatores;
- 6) Fabricação de geradores de vapor;
- 7) Fabricação de válvulas, tubulações, conexões e tanques;
- 8) Fabricação de equipamentos auxiliares, inclusive shipping caskets e elementos do balanço da usina;
- 9) Construção de turbinas-geradores;
- 10) Fabricação de condensadores e de torres de resfriamento;
- 11) Fabricação de componentes de instrumentação e controle.

As Centrais Elétricas Nucleares -

Nosso ponto de partida é a previsão de demanda de energia elétrica no Brasil. Consideramos nesta ilustração, por ora, apenas a previsão de demanda da região Centro-Sul. Esta região, que compreende os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Guanabara, Minas Gerais e Espírito Santo, consome 80% da energia elétrica produzida no Brasil e possivelmente esta proporção continuará por um bom tempo; além disso, é a única para a qual foram feitos estudos mais profundos de previsão de demanda.

Aplicando o critério da Canambra à atual capacidade geradora da região Centro-Sul, têm-se os seguintes valores para a capacidade prevista em função da evolução da demanda, segundo três grupos de hipóteses que deram uma estimativa baixa, média e alta, respectivamente :

Tabela 2.2 - Previsão de Capacidade, MW (Souza)

<u>Ano</u>	<u>Baixa</u>	<u>Média</u>	<u>Alta</u>
1975	10500	11500	12000
1980	16000	17000	19000
1985	23500	26000	30000
1990	34500	39000	49000
1995	49500	57000	78500
2000	71000	83000	126500
2005	99500	119000	204000

Segundo dados recentes, a previsão da Canabira já está superada. A capacidade instalada no Brasil em 1971 cresceu em 15,6% e a Eletrobrás prevê a instalação de 30000 MWe até 1980, dos quais não muito menos de 80% (27.600 MW) deverão ser no Centro Sul, muito acima, portanto, dos 19.000 MW da estimativa "alta" da Tabela 2.2.

Destas previsões é possível extrair alguns programas de instalação de capacidade em centrais nucleares :

Tabela 2.3 - Programa Nuclear, MW (Souza)

<u>Ano</u>	<u>Baixo</u>	<u>Médio</u>	<u>Alto</u>
1975	500	500	500
1980	1500	1500	1900
1985	6000	4500	3000
1990	13000	13500	17900
1995	21000	27900	36500
2000	35000	55400	79000
2005	50000	85000	135000

A primeira das três previsões foi feita por uma equipe da IAEA (International Atomic Energy Agency, órgão da ONU) em 1968, chefiada por J. Lane, em um relatório à CNEN. Baseou-se parcialmente no relatório da Canambra sobre a energia elétrica para a região Centro-Sul. As duas outras foram feitas por especialistas da CNEN, em 1966.

Com base nestas previsões podemos prever um programa de construção e entrada em operação de centrais nucleares. Os tipos de centrais a serem escolhidos definem um espaço de ações para o modelo da análise custo-benefício. Algumas alternativas que podem ser consideradas são: exclusivamente LWR; LWR + FBR; HWR; SGHWR; SGHWR + FBR; HTGR. Considerando o programa médio de centrais nucleares da tabela 2.4, teríamos, para os programas LWR + FBR e SGHWR + FBR :

Tabela 2.4 - Programa de Centrais Nucleares (Souza)
(em MW)

<u>Ano</u>	<u>Térmicas</u>	<u>Rápidas</u>	<u>Total</u>
1980	1500	-	1500
1985	4500	-	5000
1990	11800	1500	13300
1995	23500	5000	27900
2000	38000	16000	55400
2005	48000	41000	85000

O programa de construção de centrais elétricas nucleares constitui a base para o cálculo dos demais setores da indústria nuclear, que são os componentes dos reatores, os serviços de engenharia e de arquitetura, o combustível nuclear.

Para cada um dos demais grupos dispomos de informações sobre a utilização dos vários tipos de recursos disponíveis no sistema produtivo brasileiro, quanto à economia de escala para a sua produção, quanto ao montante de capital necessário para instalar a capacidade produtiva.

va . Não utilizamos aqui as melhores e mais completas fontes de informação para cada um dos setores da indústria nuclear, já que nosso escopo principal neste trabalho está na metodologia e não em chegar a decisões. O trabalho de compilar todas as fontes válidas de informações, cotejá-las, extrair o melhor valor e estimar a sua incerteza, não poderia ser realizado a não ser por uma equipe de especialistas, por alguns meses.

As decisões quanto aos componentes da indústria nuclear compreendem : instalação ou não da capacidade de produção de um determinado componente ou serviço dentro do período de tempo em questão; data da instalação e escala de produção; utilização dos recursos do sistema produtivo brasileiro na instalação. Passemos, pois, a uma discussão geral sobre cada um dos grupos mencionados.

Prospecção, mineração e concentração do urânio, do tório e de outros metais e minerais de uso na indústria nuclear. Preparação do urânio.-

Urânio - As reservas conhecidas no Brasil são sabidamente escassas. No entanto, qualquer programa de energia nuclear deve contar com grandes quantidades de urânio, como podemos ver no quadro da tabela :

Tabela 2.5 - Demanda cumulativa de U_3O_8 , 1000 ton.

(estimativa) (Baseado em Souza e ORNL-1)

<u>Ano</u>	<u>BWR</u>	<u>SGHWR</u>	<u>BWR+FBR</u>	<u>SGHWR+FBR</u>	<u>HTGR</u>
1980	1,4	0,5	1,4	0,5	0,4
1985	6,5	3,9	6,5	3,9	1,9
1990	18,7	15,4	18,6	15,3	5,4
1995	43,7	38,7	40,4	35,6	13,0
2000	103,0	90,0	76,0	71,0	30,0
2005	195,0	178,0	129,0	121,0	57,0

As reservas brasileiras de urânio atualmente conhecidas , que podem vir a ser exploradas comercialmente são estimadas em cêrca de 3000 ton. de U_3O_8 - devendo esgotar-se entre 1985 e 1990, caso sejam utilizadas desde já.

Para fugir aos custos crescentes do U_3O_8 , temos tres caminhos : descobrir jazidas (novas) de urânio, desenvolver métodos de mineração que reduzam o custo de exploração das jazidas onde ele é alto, e importar. É preciso lembrar que o terceiro caminho não garante preços - constantes para o futuro, já que a projeção de demanda dos outros países e a disponibilidade de minérios de urânio conhecida em face da tecnologia de mineração atual implicam em custos crescentes também no resto do mundo.

Assim, é preciso incluir entre as hipóteses possíveis, uma elevação progressiva do preço do urânio até pelo menos o ano 2000, quando o seu consumo deverá declinar em virtude da muito provável generalização do uso dos reatores regeneradores. A sua relativa escassez no Brasil deve impor uma penalidade a seu uso como recurso.

Tório - As reservas conhecidas no Brasil são relativamente abundantes, suficientes para atender à demanda de todo um programa baseado em reatores que usem o seu ciclo, até pelo menos um bom tempo após o fim do período que consideramos. Os reatores do ciclo do tório são o HTGR (e seus equivalentes alemães da classe AVR), que deverá estar disponível comercialmente pouco tempo depois de terminada a primeira usina de 300 MW, comercial, em 1972, nos Estados Unidos (em fins de 1971 já estavam comissionadas centrais elétricas nucleares do tipo HTGR, num total de 3860 MWe); e o MSBR (Lane-1), reator regenerador têrmico, que deverá estar disponível na década de 1980. Como recurso, o tório recebe um prêmio. Não é necessário um trabalho intenso de prospecção, por ora.

Materiais de uso em reatores nucleares : Zircônio, Grafi-
te, Aços Inoxidáveis.

O Zircônio é um metal cuja aplicação está ligada às con-cepções da classe dos LWR. É bastante abundante em todo o mundo, inclusive no Brasil, mas talvez não venha a ser utilizado em escala tal que jus

tifique o estabelecimento de instalações de mineração e transformação no Brasil, pelo menos para a indústria nuclear. Quase todo o zircônio consumido nos países não-comunistas é importado da Austrália, cujas jazidas - permitem um preço mínimo para o metal. Naturalmente, se conseguíssemos um bom preço para o zircônio brasileiro, ele poderia ser exportado para países cuja demanda de zircônio será de qualquer maneira alta, como os Estados Unidos.

A grafite está ligada a certos reatores como os do ciclo do tório, que a usam maciçamente como moderador. Tem neste caso especificações que a distanciam muito em dificuldade de fabricação da grafite de eletrodos atualmente fabricada no Brasil. A sua produção exige investimentos de porte médio, altamente específicos. Daí a necessidade de haver um mercado potencial relativamente seguro, antes de investir na produção de grafite de grau de reator.

Aços inoxidáveis entram em qualquer programa de reatores já que fazem parte ao menos dos sistemas auxiliares. É certo que com uma grande quantidade de reatores haverá uma grande demanda de aços inoxidáveis e especiais. O que não é certo é a quantidade de cada classe de inoxidável que deverá ser demandada, pois isto depende da estratégia adotada em matéria de concepções de CEN. Como os aços inoxidáveis e especiais podem ser agrupados em alguns poucos grupos que usam tecnologia e equipamentos semelhantes para a sua fabricação, deverá haver um efeito de mútuo estímulo de crescimento entre o mercado consumidor, e os setores da indústria de aços especiais. O aprimoramento dos aços fabricados para a indústria nuclear poderá abrir o caminho para o fornecimento para outros setores.

Enriquecimento do Urânio -

A maior parte dos reatores utilizáveis para o programa brasileiro usam urânio enriquecido. O processo de enriquecimento é caro, corresponde a cerca de 20 a 30% do custo total do ciclo de combustível dos LWR, e necessita de uma alta escala de produção para atingir custos convenientes, com a tecnologia corrente. Entre países não-comunistas, a-

penas tres têm instalações para enriquecimento de urânio (fora a União Sul Africana, que recentemente anunciou a construção de uma usina, da qual foram dadas poucas informações): os Estados Unidos, a Inglaterra e a França. Os Estados Unidos não expandirão o seu sistema a não ser com usinas de pelo menos 8,5 milhões de unidades de trabalho separativo de capacidade por ano, e que devem custar 880 milhões de dólares (de 1970) . Mas a usina da Inglaterra tem capacidade de 400 mil unidades e a da França de 200 mil a 300 mil. Embora ambas tenham sido concebidas inicialmente para intuitos militares, elas servem presentemente aos programas de energia nuclear de seus países, a um custo não muito superior ao das usinas americanas. De uma maneira grosseira, 400 mil unidades de trabalho separativo correspondem à demanda de 3000 MW, instalados de CEN, operado em um ano. No Brasil essa capacidade seria atingida por volta de 1985 , para uma estratégia baseada em LWRs.

Fabricação dos elementos combustíveis. Recuperação de Su-
catas. Reprocessamento de combustíveis. Separação dos produtos de fissão-

Todos esses processos são afetados de uma pesada influência de escala.

No caso de fabricação de elementos combustíveis, há uma enorme dependência não só do tipo de reator, como do estágio de desenvolvimento tecnológico desse mesmo tipo de reator. Para o elemento combustível do LWR, que consiste em um arranjo cilíndrico de pastilhas de UO_2 revestido por um tubo de zircaloy, o custo por Kg de U contido é assim dependente da escala de produção :

	<u>1 ton/dia</u>	<u>2ton/dia</u>	<u>4 ton/dia</u>
US\$	94	79	71

Para um ano de 300 dias de trabalho, atingiríamos as 4ton. por dia em 1983 (Souza), aproximadamente. Não dispomos de dados sobre a escala de produção do combustível do HTGR ou dos reatores a água pesada, ou dos regeneradores.

Para usinas de reprocessamento, o custo da menor usina viável nos Estados Unidos é de 20 milhões de dólares. A primeira usina de reprocessamento privada nos Estados Unidos processa 300 ton/ano, custou (construída entre 63 e 66) 33 milhões de dólares e processa vários tipos de combustíveis irradiados. Uma nova usina, usando o mesmo processo, desta vez para UO₂ de baixo enriquecimento, tem a mesma capacidade e deve custar uns 25 milhões de dólares. Uma terceira, em construção atualmente, deverá custar 70 milhões, para uma capacidade nominal de 1500 ton/ano de UO₂ e misturas de baixo enriquecimento de UO₂ e PuO₂. Alguns custos de reprocessamento são dados pela tabela.

Tabela 2.6 - Custos de Reprocessamento (Arthur D. Little)

Capacidade da Usina	300 ton/ano	1500 ton / ano		
		20%	50%	100%
Carga da Usina	100%			
Custo de reprocessamento em \$/kg U	55	93	40	22
Custo total, inclusive transporte e remoção de resíduos	66	104	51	33

Na Europa e Japão há várias usinas de reprocessamento, com capacidade a partir de 100 kg/ano (é possível que as menores usinas, embora produzindo comercialmente, tenham sido construídas mais para operar como pilotos).

Vasos de Pressão - No caso de reatores de água leve. São fabricados em aço de baixa liga e nos Estados Unidos apenas três são os fabricantes: Combustion Engineering, Babcock & Wilcox e Chicago Bridge and Iron. Em valor, o seu mercado para os LWR é comparável ao dos geradores de vapor.

No caso das centrais HTGR, os vasos de pressão são construídos em concreto protendido. Para o caso brasileiro isto constitui u

ma vantagem, pois o vaso deve ser construído totalmente no local da central elétrica nuclear. Além disso, contamos com algum "know-how" em concreto protendido que pode vir a ser utilizado na construção ou mesmo no desenvolvimento de modificações aos modelos atuais de vasos de pressão - do HTGR. Quanto ao material, poderemos dispor de agregados adequados.

Geradores de Vapor - Para os reatores de água leve a tecnologia dos geradores de vapor é altamente especializada. As condições de pressão, de temperatura e o fenômeno de vibração exigem materiais de alta performance, que devem ser montados em sistemas com tolerâncias dimensionais muito estreitas. Os geradores de vapor dos reatores do tipo HTGR são menores; entretanto exigem uma tecnologia mais sofisticada na construção.

Válvulas, tubulações, conexões e tanques - Há uma grande quantidade de fabricantes destes itens, nos Estados Unidos e pelo menos uma parte apreciável dos mesmos poderia ser fabricada por firmas já estabelecidas no Brasil.

Turbinas-Geradores - Uma nova fábrica, para ser instalada nos Estados Unidos, exige no mínimo um investimento de 100 milhões de dólares e capacidade de produção para cerca de 4000 MW. Fora dos EEUU, entre os países não-comunistas, há fábricas com capacidade para cerca de 200 a 300 MW por ano. A fábrica de grandes turbinas e geradores deve ter um investimento inicial em equipamentos muito pesado. Além disso, de 15 a 20% dos empregados estão empenhados nos setores de Engenharia e de Desenvolvimento. Os custos fixos totalizam cerca de 50% do custo das turbinas.

No caso de turbinas geradores, entre reatores do tipo LWR e do tipo HTGR são estes que exigem tecnologia mais avançada, sobretudo por operarem em temperatura mais elevada, com especificações mais severas para os materiais.

Condensadores e Torres de Resfriamento - Nem condensadores nem as torres apresentam grandes problemas de engenharia ou de economia de escala para a indústria brasileira. Nos Estados Unidos, há sete fabricantes principais de condensadores, apenas um dos quais é também fa-

bricante de SNFV (a Westinghouse). Quanto às torres de resfriamento, seu mercado se firmará no momento em que a preocupação ambiental atingir um nível mínimo em nosso país.

Fabricação de componentes de instrumentação e controle-Os componentes são da mesma qualidade que os usados em vários processos industriais, naturalmente com as especificações adequadas ao caso das centrais nucleares. Apenas usam no projeto sistemas de redundância e de coincidência, com uma filosofia especial. Ou seja, os sensores, controladores e executores poderão ser em grande parte fabricados no Brasil, sem grandes dificuldades, embora o projeto de seus sistemas talvez demande - mais tempo.

Os Sistemas das Centrais Elétricas Nucleares - Os setores da Indústria Nuclear podem ser agrupados em função dos sistemas das centrais elétricas nucleares : sistema nuclear de fornecimento de vapor - (SNFV), sistema turbina-gerador, sistema de transmissão. A própria central elétrica nuclear é um sistema.

Cada sistema deve ter um projeto integral, com certo grau de detalhamento, que especifica mais ou menos estritamente os projetos de seus componentes. No caso do SNFV, seus componentes : o caroço do reator (com elementos combustíveis, moderador, tubulações, barras de controle, refletor e blindagem), os geradores de vapor e os elementos estruturais e auxiliares, podem ser subcontratados a terceiros, mas os elementos essenciais de seus projetos são determinados previamente no conjunto.

Esta condição favorece a concentração dos setores da indústria nuclear em sistemas e efetivamente, nos Estados Unidos, os fabricantes dos SNFV fabricam também quase todos os seus componentes. É lógico considerar que, para o Brasil, também seja este o caso. A relativa definição do governo quanto aos rumos que deverá tomar a recém-criada - Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, deixa em aberto a questão. No entanto, há que considerar um efeito que talvez seja o determinante no processo de decisão : o tamanho crítico de fornecedor.

Qualquer estrutura de empresa que se dedique à construção

ou fabricação das CEN ou de partes, componentes ou sistemas das mesmas , terá sempre um conjunto de requisitos em volume de capital, equipamentos, pessoal de alta qualificação, credibilidade tecnológica e volume de vendas esperado. Esses requisitos consistem em níveis mínimos que devem ser atingidos para que a empresa tenha estabilidade e rentabilidade sem um excessivo protecionismo, característicos de sua linha de produtos e serviços. Embora seja difícil estabelecer a priori os níveis mínimos de requisitos, achamos razoável postular que há um conjunto deles para o qual qualquer falha no seu preenchimento implica na impossibilidade da empresa atingir o seu nível mínimo de rentabilidade monetária ou social.

Com o crescimento da economia em geral e das demandas e ofertas da indústria nuclear em particular, pode-se supor que em um determinado ponto mesmo a estrutura de empresa mais exigente - a de uma empresa que tenha o mais amplo espectro de produção venha a ser ao menos auto-sustentável. Em pontos mais verdes do desenvolvimento, poderão alcançar esse estado estruturas de empresa de horizonte mais estreito. O espaço de ações da análise custo-benefício deve, portanto, ser restringido em função dos tamanhos críticos das unidades de produção, sejam elas referentes a componentes ou a sistemas das CEN.

2.2.1.4 - Os sistemas na construção e na operação das CEN

Voltando ao SNFV. Alguém deve projetar o sistema e ser responsável por sua performance. Esta é uma atividade mais complexa ,que possui requisitos mínimos mais pesados do que a fabricação dos seus componentes. Entretanto, o projeto e montagem do sistema pode ser considerado como uma atividade à parte - se bem que extremamente interdependente da fabricação dos componentes e como tal pode caracterizar um setor como outro qualquer da indústria nuclear.

Balanço da Usina e Engenharia - O balanço da usina engloba todos os componentes da central nuclear, fora a estação de transmissão, que não se enquadram no SNFV ou no sistema turbina-gerador: itens - como preparação do terreno, erguimento das estruturas e melhorias, equipamento elétrico acessório, vários sistemas auxiliares e mão de obra de

construção contratada no local. Dentro desta categoria, a Arthur D. Little em seu trabalho incluiu os serviços de arquitetura e de engenharia.

Os serviços de balanço de usina, nos Estados Unidos, tem sido feitos ou por grandes empresas de engenharia, pertencentes a um reduzido grupo de seis ou sete, ou pela própria empresa concessionária de energia elétrica responsável pela construção e operação da CEN.

Serviços do ciclo do combustível. Compreendem cálculo do ciclo do combustível através da vida do reator, obtenção do metal nuclear, conversão e enriquecimento do urânio, fabricação dos elementos combustíveis, reprocessamento e disposição dos rejeitos radioativos.

Estes serviços (ou produtos) podem ser objeto de contratos que compreendem todo o conjunto ou partes. Nos Estados Unidos há atualmente três tipos de contratos: o serviço de ciclo de combustível, que executa todas as operações do ciclo, fora a operação propriamente do mesmo no reator; o serviço de combustível inicial, que provê o fornecimento da carga inicial de combustível, mas não as operações posteriores à operação - dessa carga; e o serviço de fabricação do combustível, que apenas projeta e fabrica os elementos combustíveis a partir de urânio cuja extração, conversão e enriquecimento correram por conta do comprador.

As tabelas 2.7 e 2.8 permitem uma comparação da importância econômica dos vários componentes da CEN e dos setores da Indústria Nuclear, a partir de dados americanos.

Tabela 2.7 - Custos de Capital de Algumas Centrais Elétricas Nucleares Americanas de 1000 MW elétricos (Componentes Principais), em dólares de 1967 (Lane-2)

Conta		PWR	HTGR	LMFBR	GCFR
21	Estruturas e Melhorias	14020	8255	15110	10752
22	Equipamentos da Usina do Reator	47750	48117	61173	50545
221	Equipamentos do Reator	13371	17350	6545	12175
221.1	Vaso e Internos	7165	11755	1086	9725
221.2 a 6	Demais componentes (*)	6206	5595	5450	2450
222	Sistemas de Transferência de Calor	18927	13117	36928	19560
222.1	Geradores de Vapor Demais Sistemas	10010	8930	15525	9540
223 a 229	Equipamentos menores				
23	Usina da Turbina-Gerador	34754	25625	25232	26491
231	Turbina-Gerador	27624	20192	19909	20861
232	Sistema de Resfriamento de Água	2400	1650	1847	1900
233	Condensadores	3400	2553	2486	2500
24	Equipamento Elétrico Acessório	4594	3815	4500	4200
25	Equipamentos - Miscelânea	1250	1250	1250	1250
	TOTAL	102368	87062	107265	91328

(*) Contrôles, Blindagem, Refletor, Aquecimento e Resfriamento Auxiliares, Guindastes e Pontes Rolantes.

Tabela 2.8 - Indústria Nuclear: Previsões do Mercado Americano
em 10⁶ dólares por ano (Arthur D. Little) -

Setor	1970	1975	1980
Demanda de U ₃ O ₈ - EE.UU.	120	272	544
Demanda de U ₃ O ₈ - Ocidente	96	272	608
Conversão de UF ₆ - EE.UU. + Ocidente	24,15	60	132
Conversão de UF ₆ (U levemente enriquecido)	0,15	2,8	7,8
Conversão de UF ₆ (U altamente enriquecido)	0,5	0,5	0,5
Enriquecimento - EE.UU. + Ocidente.	130	500	1100
Processamento de U e fabricação	59 14	125 154	189 ^(*) 352 ^(**)
Vasos e Pressão	21	71	127
Geradores de Vapor	23	71	127
Pressurizadores	2	6	10
Bombas de Alimentação dos Reatores	8	26	47
Válvulas, Tubos, Tanques do SNFV	23	79	141
Instrumentação e controle do SNFV, barras de controle e mecanismos de acionamento das barras de controle	34	114	205
Equipamento Turbina-Gerador Associado - (condensador, torres de resfriamento, aquecedor)	18	60	108
Estruturas de contenimento	26	88	159
Turbina-Gerador e equipamento associado	135	460	810

(*) Combustível inicial

(**) Recarga

Observação: Ocidente = Todos os países não-comunistas.

2.2.2 - Definição dos Critérios de Avaliação e de seus Pesos

Tanto os critérios de avaliação como o espaço (ou espaços) de ações de uma análise custo-benefício definem-se em função do problema analisado. Parece mais lógico, entretanto, que o passo seguinte ao delineamento geral do problema seja a definição dos critérios de avaliação. - Isto porque, primeiro, eles decorrem dos objetivos e das restrições aí expostos, e, segundo, o espaço de ações é previamente desbastado das alternativas que numa estimativa inicial já dão resultados demasiado pobres segundo algum critério.

Para a indústria nuclear levamos em conta em primeiro lugar os critérios normalmente usados em análises semelhantes. Aos critérios de avaliação de custos e benefícios juntamos dois critérios que não se enquadram bem nem em um nem em outro grupo, mas numa outra categoria que denominamos de efetividade.

Consideramos inicialmente um grupo de critérios que se sobrepunham parcialmente. Fizemos a eliminação de alguns por irrelevantes e/ou contraditórios com critérios mais importantes. No grupo final de critérios que exporemos mais longamente mais adiante, há ainda critérios que se sobrepõem - mantivemos aqueles que, embora decorrentes dos mesmos resultados, apresentavam efeitos de naturezas diferentes.

Assim, chegamos à lista de critérios que se segue:

1. Benefícios: Benefícios em consumo agregado
Benefícios em redistribuição do consumo
por região
Benefícios em custo do serviço
2. Custos: Custos de capital
Aderência ao plano nacional de recursos
3. Efetividade: Integração de Escala
Integração de Sequência

Esta lista não tem a pretensão de ser exaustiva, nem de

ser a mais conveniente. A ela chegamos por um caminho parcialmente subje-
tivo, baseados em nosso julgamento. O caminho para uma definição mais com-
pleta de critérios de avaliação passa forçosamente por um júri de analis-
tas e de homens do campo da energia elétrica em geral e da energia nu-
clear em particular. Um tal júri seria necessário também para definir os
pesos relativos dos critérios escolhidos, que devem traduzir um consenso
dentro de um universo amplo de analistas e de homens de decisão. A lite-
ratura de anos recentes fornece alguns roteiros para efetivar a escolha-
dos pesos relativos para os critérios. Não nos estenderemos aqui sobre o
assunto para não fugir às finalidades de nosso trabalho.

2.2.2.1 - Definição do Espaço de Ações

No caso da indústria nuclear simplesmente não examinamos a
alternativa zero. Mesmo que nenhum componente, material ou serviço da in-
dústria nuclear venha a ser produzido no Brasil, mesmo assim deverá ha-
ver a produção de energia por centrais nucleares, que são parte da mesma.

O que podemos e devemos considerar é a multiplicidade dos
espaços de ações. Definidos os critérios de avaliação, são relevantes os
espaços de ações cujas alternativas impliquem em variações sensíveis nas a-
valiações sob um ou mais critérios de maior peso.

As árvores de decisões podem ser formadas de modo a que as
ramificações principais correspondam a variações sensíveis nos critérios
de maior peso, e as secundárias correspondentemente nos de menor peso. Ao
mesmo tempo, se pudermos definir um conjunto de espaços de ações $[A_1, A_2,$
 $\dots, A_n]$ que produzem variações da mesma ordem de grandeza na avaliação
ponderada global, poderá ser importante estudar pelo menos uma boa parte
do espaço formado pelo produto escalar dos espaços de ações: $[A_1 \times A_2 \times$
 $\dots \times A_n]$. O estudo no caso será restringido apenas pelo custo.

Eis alguns dos espaços de ações que cabem numa análise cus-
to-benefício da indústria nuclear:

Concepções Tecnológicas da CEN. Quais os tipos de CEN que
serão empregados para atender à demanda de energia elétrica.

Escalas e Níveis Temporais de Gastos. Qual o fluxo de gastos (em cruzeiros ou dólares de hoje) para a instalação e funcionamento das unidades produtivas da indústria nuclear, inclusive as CEN.

Grau de definição do programa. O que, e em que grau, do programa da indústria nuclear brasileira, definimos desde já, no intervalo de tempo considerado para a análise.

Horizonte Temporal das Decisões. Dada uma estratégia de instalação de unidades produtivas, qual o horizonte temporal - data terminal - que é fixado para validade das decisões.

Configuração do programa. O programa desenvolverá todos os setores da indústria nuclear ao mesmo tempo, ou se concentrará em um ou outro grupo de setores que compreenda apenas parte da mesma.

Localização da Indústria Nuclear. A localização da indústria nuclear otimiza os custos de transporte simplesmente, ou leva em conta fatores como aproveitamento de mão de obra abundante em certos locais, uso balanceado de polos de desenvolvimento industrial, etc.

Mão de Obra e Capital. Uso alternativo de tecnologias capital-intensivas ou humano-intensivas em vários graus para as diversas unidades produtivas do programa.

Fornecedores Estrangeiros. Eleger um grupo restrito de fornecedores estrangeiros de tecnologia, produtos e serviços para a indústria nuclear brasileira ou utilizar alguma política de importação aberta.

Estes espaços de ações exprimem escolhas que um exame prévio e cuidadoso das restrições impostas pelas condições brasileiras e das possibilidades tecnológicas pode classificar de irrealistas. Cada um deles influi sensivelmente sobre apenas parte dos critérios de avaliação.

Muitos dos espaços de ações só podem ser estudados se em outros já se tomou uma decisão, e alguns espaços de ações têm claramente uma importância secundária em relação aos demais. Os efeitos de outros ti

pos de espaços de ações, por contraste, são independentes das decisões tomadas nos demais.

2.2.2.2 - As Funções dos Critérios de Avaliação

Uma vez determinados quais os critérios para a avaliação das decisões nos espaços de ações da análise custo-benefício, torna-se necessário saber como tirar as decisões a partir de hipóteses sobre a natureza.

Ou seja, devemos agora tratar de como o modelo nos leva à decisão de escolher, de um grupo de alternativas, a melhor, segundo cada um dos critérios escolhidos.

Para isto utilizamos na análise um modelo de contagem aníveis discretos (scores). A melhor alternativa é a que apresentar uma contagem de pontos superior às contagens das demais. Essa contagem é obtida para cada critério a partir de hipóteses sobre a natureza (que incluem - previsões de demanda de energia elétrica, disponibilidade de recursos como urânio e tório, hipóteses sobre a performance de algum tipo de sistema usado nas CEN ou nas unidades produtoras de componentes ou materiais), através do que chamamos de funções dos critérios de avaliação. Nesta seção procuraremos mostrar como no nosso caso podem ser obtidas estas funções.

Elas podem ser classificadas em tres grupos gerais: simples, compostas e de dados aleatórios.

Simple - Quando de um conjunto de valores das hipóteses que tomamos como certos, calculamos diretamente os níveis de avaliação.

Compostas - Quando um determinado critério está subdivido em vários sub-critérios, podem-se dar dois casos: os sub-critérios têm a mesma dimensão e podem compor uma função única de avaliação, que fica sendo a do critério, ou têm natureza diversa. Neste último caso, as funções dos sub-critérios serão usadas para avaliar as ações alternativas e as avaliações resultantes serão usadas para, devidamente ponderadas, compor

as avaliações de critério. O método Electra poderia ser usado no caso.

Funções de Dados Aleatórios - Quando os níveis de avaliação baseiam-se em dados aos quais atribuímos uma distribuição de probabilidades (geralmente com os parâmetros determinados de uma forma empírica ou subjetiva). O valor dos níveis será calculado em função dos parâmetros de distribuição (média e variância) desses dados ou de uma variável aleatória calculada a partir dos mesmos, e de outros dados (estes não-aleatórios). Este tipo de função em geral exigirá o emprêgo de simulação em computadores digitais. (Moore)

1) - Benefícios em Consumo Agregado

Considerando-se que toda a indústria nuclear, tal como a definimos aqui, destina-se à produção de energia elétrica, segue que o valor do consumo agregado é igual ao valor do consumidor da energia gerada no período considerado. Ele é, portanto, igual para todas as estratégias, desde que consideramos a demanda de energia elétrica independente da estratégia tomada (arigor não é assim, pois diferentes estratégias levam a custos diferentes do kwh, que resultam em diferentes níveis de demanda). O benefício em consumo agregado é obtido pela diferença entre o consumo agregado e os custos de capital e de operação, do projeto, tomados em valor presente, e o efeito dos custos sobre a demanda de energia é retirado deste critério para ser tratado mais adiante, pelo critério do custo do serviço.

Os custos são calculados em seus valores sociais: os preços de equipamento importado calculados pelo câmbio social, os impostos não são considerados como custos, e os custos da mão de obra e dos insumos são corrigidos para seus valores sociais.

No estudo de J.A. Marques de Souza, os benefícios em consumo agregado referidos ao valor presente de 19 de julho de 1975, para uma série de estratégias e previsões de demanda, vão de zero (para a pior alternativa) a 318 milhões de libras.

Tabela 2.9 - Custo em valor presente (1) e benefício econômico para as estratégias (Souza) -

PROGRAMA	ITEM	ESTRATÉGIA				
		ÓLEO	SGHWR	SGHWR FBR	BWR	BWR FBR
PEQUENO	Custo em v. pres.	1129	986	966	1081	1042
	Benef. econômico	0	143	163	48	87
MÉDIO	Custo em v. pres.	1453	1241	1215	1353	1306
	Benef. econômico	0	212	238	100	147
GRANDE	Custo em v. pres.	2067	1783	1749	1946	1882
	Benef. econômico	0	284	318	121	185

Valores em 10⁶ libras.

(1) 19 de julho de 1975

A função proposta para o benefício de consumo agregado é: Avaliam-se (sem grande precisão) os limites extremos do benefício em consumo agregado, considerando-se todos os valores possíveis (e razoáveis) para os parâmetros das hipóteses. Dividindo-se em 7 intervalos a diferença entre os limites determinados, atribui-se aos planos uma nota, entre 1 e 7, conforme o intervalo que o seu benefício em consumo agregado ocupar (o júri pode optar por uma divisão em mais ou menos intervalos; o número 7 é apenas um número considerado conveniente, em função de alguns estudos teóricos publicados). Para ilustrar, a tabela mostra alguns valores dados por J.A. Marques de Souza, de benefícios em consumo agregado. Tabela 2.9.

2) - Benefícios em Redistribuição do Consumo por Região.

No Brasil de 1967, tínhamos a configuração de consumo de eletricidade indicada na tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Consumo de Eletricidade por Regiões (CNEN)

	NORTE	NORDESTE	C. OESTE	C. SUL	SUL	BRASIL
Consumo de eletric. Gwh	187	1965	377	20455	2638	26494
População, 10 ⁶	3,1	25,5	4,2	37,3	15,4	84,7
Consumo per capita, kwh	61	72	89	548	172	313

Observação: A revista Conjuntura Econômica, vol. 24, nº1 - Janeiro 1970 reportou os seguintes dados para o mesmo ano, em GWh:

Brasil : 34.237,6
 Norte : 285,8
 Nordeste: 2.722,9
 C. Oeste: 1.524,7
 C. Sul : 27.213,0
 Sul : 3.078,1

Podemos afastar da análise por ora o Norte e o Centro-Oeste, que por condições de baixa densidade demográfica, apresentam problemas especiais no abastecimento de energia elétrica. Por outro lado, a população somada das regiões restantes perfaz 92% da população brasileira, e dificilmente essa proporção deverá se alterar muito nas próximas décadas.

Se considerarmos o crescimento médio de potência para a região Centro-Sul, segundo as previsões da Eletrobras, devemos ter as percentagens da tabela 2.11 e o consumo evoluirá de acordo com os números indicados.

Tabela 2.11 - Evolução do Consumo, Centro-Sul

Ano	Crescimento, %	Consumo, GWh
1967		20450
1970	10	27200
1980	9,0	64400
1990	8,5	145700
2000	8,5	314500

Supondo um crescimento de população até o fim do século de 2,3% ao ano, uniforme para todo o Brasil, a população das principais regiões crescerá de acordo com os números da tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Projeção de Crescimento da População por região.

População, 10⁶

Ano	NE	CS	S
1967	25,5	37,3	15,4
1970	27,3	39,3	16,5
1980	34,3	50,1	20,7
1990	43,0	62,9	26,0
2000	54,0	79,0	32,6

Consideremos agora várias metas alternativas para o consumo do nordeste e do sul, expressos como fração do consumo per capita da região para o consumo per capita da região centro-sul (tabela 2.13).

Tabela 2.13 - Metas de crescimento do consumo.

Razão cons. reg. por cons. do Centro-Sul	Nordeste			Sul		
	Cons. per capita, kwh	Cons. total, GWh	Cresc. Médio(1)	Cons. Per capita, kwh	Cons. total, GWh	Cresc. Médio(1)
0,50		105000	12,8		64900	10,2
0,70		147000	14,0		90900	11,3
0,80		168000	14,4		103800	11,8
0,90		189000	14,8		116800	12,2
1,00	3980	210000	15,2	3980	129800	12,5

Cada uma dessas taxas de crescimento do consumo de energia elétrica tem um determinado valor para o critério de redistribuição do consumo por região. A função de determinação dos níveis para esse critério será análoga à usada para o consumo agregado.

O crescimento do consumo na região depende de um crescimento adequado da sua economia (crescimento industrial, renda per capita). Partindo de índices gerais de crescimento da economia da região, impostos como hipóteses, o crescimento do consumo de energia elétrica na região dependerá:

- dos custos de construção das CEN
- da possibilidade de instalação de CEN de dimensões reduzidas sem penalidades severas no preço do kwh.

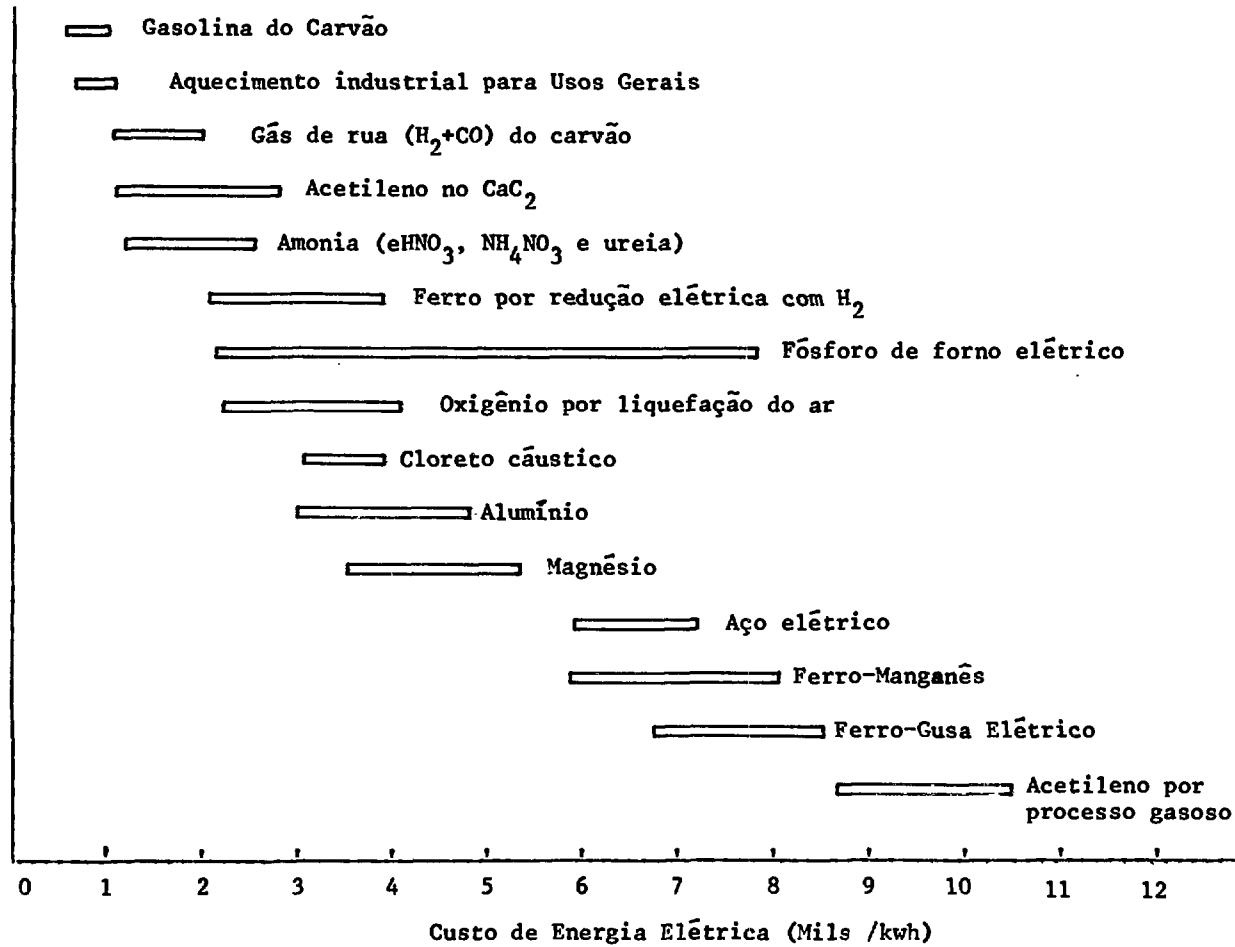
Dada a subjetividade que carregarão boa parte das hipóteses para este critério, uma função adequada terá a forma composta, de dados aleatórios.

3) - Benefícios em Custo do Bem ou Serviço

Consideramos o custo do kwh como algo a ser medido no grupo dos benefícios. É que a energia elétrica, considerada como insumo para os vários ramos da indústria, tem uma influência por vezes muito grande no custo de certos produtos básicos. Assim, uma baixa no custo do kwh pode ter um efeito multiplicador na economia de um país. Eis porque consideramos o custo unitário da eletricidade como um resultado a ser considerado à parte do fluxo de capitais necessário para financiar a implantação e começo de operação da indústria nuclear (custos de capital) e da comparação dos custos globais nos espaços de ações (benefícios em consumo agregado).

Aqui não consideramos apenas o efeito proporcional de custos menores. O preço do kwh afeta necessariamente o seu nível geral de consumo; as oportunidades de consumo adicional por efeito do preço da energia elétrica são ilustradas pela figura 2.2. A amplitude das faixas - exprime a variação das condições locais em que cada um dos processos se torna econômico.

Figura 2.2 - Elasticidade na demanda de energia.



Se possuímos uma política tecnológica globalmente orientada, o que parece ser a tendência, haverá uma grande sensibilidade à diminuição ou ao não aumento do preço da energia elétrica, em termos de oportunidades de investimento. Então, no caso de a tarifa cobrada acompanhar o custo, este será incluído na avaliação. Embora a importância deste critério seja teoricamente enorme, é preciso levar em conta que seus resultados a médio prazo estão afetados de grande incerteza.

4) - Custo de Capital.

Incluem os desembolsos feitos na construção das centrais elétricas nucleares e na instalação e início de operação dos demais setores da indústria nuclear. A sua avaliação é feita através do cálculo do valor presente da corrente de gastos dentro do período considerado. Vale a pena voltar agora a examinar a questão da taxa de desconto.

No Brasil, para avaliações do tipo custo-benefício, tem-se usado uma taxa de 10% ao ano. Como vimos mais atrás, a taxa de desconto deveria, na medida do possível, representar as preferências intertemporais em relação às quantias desembolsadas. Como o capital no Brasil está destinado por ainda um bom tempo a permanecer um recurso escasso, ele deve estar sujeito a restrições e diretrizes emanadas pelo poder político para a economia brasileira como um todo. A sistemática sugerida por Marglin para substituir a taxa de retorno interna do setor privado por uma taxa de desconto que reflita o custo de oportunidade do investimento no projeto tem também uma grande utilidade, mas está amarrada a hipóteses restritivas, e não avalia diretamente as preferências intertemporais de que falamos acima.

No entanto, o valor da taxa de desconto pode influenciar pesadamente as decisões quanto ao custo de capital mais baixo, penalizando todo programa que inclua gastos pesados nos seus primeiros anos. Não podemos nos dar ao luxo, portanto, de aceitar uma taxa de desconto que possa discriminar contra um programa aparentemente mais custoso, na base apenas de hipóteses discutíveis.

Mais uma vez, nossa proposta é no sentido de estender pa-

ra simplificar. Conscientes da discussão que a determinação de uma taxa de desconto pode gerar, renunciamos a escolher uma taxa de desconto única; em vez disso, adotamos um valor central que poderia ser o atualmente adotado de 10%, mas faremos o cálculo para vários outros valores de taxa de desconto, digamos de 7,5 a 15%, com intervalo de 2,5%. A taxa social de desconto e a taxa de retorno interna do setor privado certamente encontram-se dentro desses limites, e a avaliação se fará em função do conjunto de configurações geradas pelas várias taxas de desconto. Caso as configurações sejam fortemente contraditórias, o peso do critério de custos deverá ser desvalorizado por um fator de incerteza.

Quanto ao valor central da taxa de desconto, há ainda uma observação a fazer: segundo o analista J.A. Marques de Souza, a taxa de desconto recomendada tem em geral um valor superior à da taxa de crescimento do PNB. Na França, a taxa de desconto adotada é de 7% e o crescimento do PNB é de 5%; na Inglaterra, passou-se de 8 para 10% para a taxa de desconto, e o crescimento tem oscilado ultimamente de 3 a 5% ao ano. Assim, para o Brasil, como um crescimento previsto de 6% ao ano, a taxa de desconto é perfeitamente razoável. Se, entretanto, levarmos em conta as estimativas oficiais de crescimento de 9 a 10% pelo menos nos próximos 10 anos, seria lógico subir a taxa de desconto para 12 ou 13%.

A função de avaliação poderá ser feita com base nos valores presentes extremos de todas as alternativas consideradas, pela posição de cada programa em relação à escala formada pela divisão desse intervalo de valores extremos por sete, ou outro número que venha a mostrar-se mais conveniente.

5) - Custos: Aderência ao plano nacional de recursos.

a) - O enfoque dos recursos.

Projetos que envolvem a mobilização maciça de insumos básicos devem ser estudados quanto à sua utilização eficiente. O problema da utilização eficiente de insumos básicos de oferta não completamente elástica é demasiadamente complexo para que possamos operar apenas com os valores monetários de custos. É necessário considerá-los na sua disponibilidade atual e futura, na segurança de seu suprimento, nas suas interre-

lações uns com os outros.

Os recursos podem ser classificados de um modo geral em dois grupos: de um lado os recursos naturais e de outro os recursos tecnológicos, industriais e humanos.

Os recursos naturais se originam no solo, sub-solo, relevo, bacias hidrográficas. No nosso caso, são importantes recursos como os potenciais hídricos, jazidas de combustíveis fósseis-óleo e carvão; depósitos de metais como urânio e tório.

Caracterizam-se por ser de disponibilidade relativamente rígida, embora a evolução tecnológica possa ampliar a faixa explorável e economicamente dos recursos naturais. Por exemplo, a disponibilidade de urânio pode aumentar sempre que se desenvolvam métodos de extração mais econômicos.

Já os recursos tecnológicos, industriais e humanos são passíveis de grandes mudanças, cada um dos tres grupos seguindo leis próprias de evolução e padrões de respostas a estímulos exteriores característicos.

Os recursos industriais são o conjunto de produtos e serviços que a indústria de um país pode fornecer atualmente. Sua evolução pode ser controlada a médio e longo prazo pelo governo, mas esse controle será sempre incompleto e deverá levar em conta efeitos poderosos de inércia que se opõem normalmente a mudanças rápidas na dinâmica de evolução.

Os recursos tecnológicos são um reflexo dos recursos industriais, mas sua disponibilidade depende também de universidades e institutos de pesquisas. O desenvolvimento tecnológico pode ser, por isso, estimulado pela implantação nessas entidades de uma política específica e pela canalização de recursos adequados. A oferta de recursos tecnológicos é mais elástica em relação a decisões políticas, embora o efeito dessas decisões também deva aparecer apenas após um certo lapso de tempo.

Quanto aos recursos humanos, há tres grupos característicos: mão de obra de pouca ou nenhuma qualificação, quadros técnicos de média e alta qualificação, e quadros administrativos. No Brasil, o primeiro grupo é abundante e assim deve permanecer nos primeiros tempos da indústria nuclear. O segundo tem uma oferta irregular, sujeita a crises setoriais; geralmente há falta de técnicos de nível médio e de engenheiros para funções tecnicamente muito empenhativas, e essa será provavelmente a situação que prevalecerá nas fases iniciais da indústria nuclear. Quanto a quadros administrativos, a indústria nuclear brasileira deverá sentir uma aguda escassez dos mesmos, pois atualmente seu número é pequeno, e a sua formação exige, além de educação formal e treinamento básico, longos anos de prática.

Um terceiro grupo de recursos que não incluímos aqui por ter sido tratado mais atrás são os recursos monetários, ou seja, a capacidade interna de investir.

b) - O plano nacional de recursos.

Considerados como recursos, os insumos da indústria nuclear brasileira devem obedecer a uma política nacional que permita:

Maximizar o uso de recursos abundantes e minimizar o uso de recursos escassos.

Usar os recursos de maneira harmônica, em proporções adequadas, de modo a evitar a formação de gargalos setoriais.

Aumentar no processo a disponibilidade dos recursos menos abundantes.

Estes tres objetivos tem em mira um objetivo final, geral, que vale para toda política de recursos, e que consiste em obter, para o período considerado (incluindo eventualmente uma extensão para os períodos subsequentes), a disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para todas as demandas, de todos os recursos essenciais, deixando uma margem adequada de flexibilidade para as incertezas de previsão.

Em apêndice, reproduziremos alguns excertos do Plano Nacional de Desenvolvimento do governo Medici, onde encontramos indicações para um plano nacional de recursos.

c) - Índices para a avaliação dos objetivos do plano nacional de recursos.

c.1 - os planos seriam avaliados em função da satisfação relativa que pudessem oferecer às metas:

- maximizar o uso do tório, minimizar o do urânio
- maximizar o uso dos potenciais hidroelétricos
- maximizar o uso da mão de obra de nível de qualificação baixo ou nulo
- maximizar o uso de tecnologias que já contam com um mercado potencialmente vasto em outras áreas da economia.
- minimizar o uso de tecnologias muito específicas (ou restrengidas a níveis definidos) e dependentes de pesquisas em nível puro

c.2 - O segundo objetivo exprime a busca de uma robustez e coerência do plano em relação aos recursos disponíveis, em cada estágio de evolução do programa da indústria nuclear. Esta coerência é a medida da uniformidade dos riscos de falhas na disponibilidade dos vários tipos de recursos. Neste sentido, os planos classificam-se na medida em que puderem responder afirmativamente às perguntas:

- haverá suficiente disponibilidade de óxido de urânio e de serviços de enriquecimento, a um custo razoável ?
- a importação prevista de equipamentos, serviços, material e tecnologia corresponde à disponibilidade prevista de dólares ?
- as empresas brasileiras encarregadas de fornecimentos de indústria nuclear tem condições de garantir o fornecimento e a performance de seus produtos ?

c.3 - O desenvolvimento de recursos pouco abundantes é medido pela evolução, em termos absolutos e em relação à demanda, da disponibilidade. Vários índices podem ser usados para a sua avaliação: número de técnicos nacionais nas unidades da indústria nuclear, número de pa-

tentes de processos e dispositivos de aplicação imediata aprovadas, valor dos contratos de projeto e construção de centrais elétricas nucleares em mãos de empresas nacionais, etc.

6) - Efetividade: Integração de Sequência.

É o critério que mede a robustez do programa, isto é, o inverso da expectativa de mudanças no programa que causem perdas (em custos de oportunidades) decorrentes do fechamento prematuro de unidades produtivas instaladas, da duplicação do trabalho e dos possíveis atrasos em um programa descontínuo, comparados com o que ocorreria num programa coerente.

Evidentemente, essas mudanças devem ocorrer, devido a efeitos não previstos, como a evolução tecnológica e estimativas erradas de custos, em algum grau.

O efeito da mudança tecnológica pode ser avaliado atribuindo-se ao sucesso de cada uma das concepções atualmente em desenvolvimento (e que podem incorporar-se ao programa) uma probabilidade (essa probabilidade poderia ser determinada a partir de avaliações subjetivas de um júri internacional de especialistas da indústria nuclear). As concepções que superarem as atuais gerarão em cada programa probabilidades de quebra de sequência, com os efeitos de custos de oportunidade citados.

7) - Efetividade: Integração de Escala.

Podemos destacar dois efeitos de escala importantes para a indústria nuclear:

a) - Tamanho das Centrais Elétricas Nucleares. Sem contar o custo de pesquisa e desenvolvimento acumulados, que incide igualmente sobre um reator de 100 ou de 1000 MW, vários custos são fixos ou de baixa sensibilidade em relação à capacidade geradora das Centrais Nucleares - o projeto e seu detalhamento; os sistemas de controle e de blindagem; os sistemas auxiliares; as estruturas e melhorias do local.

Resulta disso um efeito de escala sobre os custos da energia elétrica gerada. Levando em conta de um lado esse efeito de escala e

de outras considerações de engenharia nuclear e de segurança, foi escolhida a capacidade de 1000 MW elétricos como standard para as CEN comerciais a serem construídas nos Estados Unidos. Para esse tamanho o preço da energia elétrica é competitivo com o das centrais térmicas a carvão para a maior parte do território americano. É este o tamanho que deverá ser adotado no Brasil quando a construção de centrais nucleares começar a se intensificar nos inícios dos anos 80.

b) - Tamanho dos fornecedores de componentes, equipamentos e materiais para as CEN. Atualmente, nos países de tecnologia avançada, está em desuso o contrato "turnkey", que coloca sob a responsabilidade de uma só empresa a construção da central nuclear com todos os equipamentos e o combustível inicial, e a garantia de performance da mesma. Isto porque a somatória dos riscos financeiros acaba sendo uma carga demasiada mesmo para as empresas mais poderosas que operam no ramo.

Transpondo para o Brasil, vemos facilmente que não podemos a médio prazo contar com capital e capacidade administrativa suficientes para organizar qualquer empresa de vulto semelhante aos desses colossos. É muito mais realista destacar, para cada um dos componentes do sistema central elétrica nuclear em que este possa ser dividido, sem prejuízo da engenharia global e da segurança do projeto, um ou dois centros de produção.

A maneira mais direta de aplicar o efeito de escala ao programa da indústria nuclear no Brasil seria a que é usada normalmente nos países industrializados: investe-se na instalação da capacidade de produzir um determinado componente quando a demanda desse componente atingir um determinado valor de "break-even". A opinião dos técnicos dos países avançados é a de que, mesmo para um país como o Brasil, é este o único procedimento cabível.

Concordamos que o problema de escala é importantíssimo, e em certos casos crítico. Entretanto, seguindo à risca o procedimento aqui proposto, estaríamos ignorando certas características essenciais do planejamento em um país no estágio de desenvolvimento do Brasil. A razão

é que, contando com relativamente poucos recursos industriais, um país não desenvolvido terá que pagar mais caro qualquer adição ao seu sistema produtivo, pois maior percentagem do mesmo terá que ser importada. Por outro lado, uma política que favoreça a instalação precoce de capacidade industrial dá maior peso ao conjunto do sistema produtivo, capacitando-o a responder mais eficientemente às futuras solicitações. Assim, ao estudarmos a questão da instalação de capacidade produtiva para os componentes das centrais nucleares, devemos levar em conta não só os custos em relação à demanda prevista, mas também tanto a necessidade de conseguir um grau elevado de integração na sequência das decisões (do ponto de vista tecnológico) como de promover uma utilização eficiente de todos os recursos disponíveis. Em suma, considerar o efeito de escala como mais um critério de avaliação a ser alinhado com os demais.

Ao transpor o efeito de escala do campo das decisões para o dos critérios de avaliação, temos em mira, além de aumentar o número de graus de liberdade no espaço das decisões, possibilitar a incorporação das incertezas na estimativa dos parâmetros (hipóteses sobre a natureza) à avaliação desse efeito de escala.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O que caracteriza a Indústria Nuclear entre os vários projetos nacionais é a multiplicidade de caminhos que ela pode tomar, e a consequente complexidade do processo de tomada de decisões.

As análises custo-benefício não podem ignorar essa complexidade. Embora devam ser feitas sobre um modelo que é necessariamente uma simplificação da realidade, frequentemente essa simplificação é exagerada.

Assim, no campo da energia nuclear, podemos encontrar a análise custo-benefício que compara os custos de uma série de alternativas em estratégia de centrais nucleares. A esses custos chegou-se a partir de dados de países adiantados, e mediante a construção de funções de custos que usam hipóteses simplificadoras. Algumas dessas hipóteses são arbitrárias e portanto sujeitas a erros de amplitude desconhecida. Outras, amarram a análise a uma realidade específica e estática.

Uma evolução desse tipo de análise, que encontramos na literatura nuclear, é o estudo em que se consideram diferentes dinâmicas para algumas variáveis como preços do U_3O_8 , ou decisões de âmbito governamental (opções tecnológicas globais, datas de início de um projeto de pesquisa e desenvolvimento), e em que variáveis de valor mais ou menos arbitrário, como a taxa de desconto, entram com valores múltiplos.

O modelo que expusemos neste trabalho pretende ir um pouco além - mediante as técnicas da Pesquisa Operacional, chegar a avaliações que levem em conta, de um lado a variabilidade e incertezas das variáveis principais, e de outro, todos os critérios de escolha que podem influir, em qualquer fase do projeto, em decisões importantes.

Com isto, a análise custo-benefício poderá ter a sua validade ampliada para uma variedade de configurações possíveis, tanto do ponto de vista objetivo como do subjetivo. Suas avaliações, por outro lado, pode-

rão ser usadas como referência para controle da evolução da indústria nuclear, pois a análise avalia a influência de fatores dinâmicos que comumente são supostos invariantes (medidas de efetividade, aderência ao plano nacional de recursos).

Para a implantação do modelo, além de uma exaustiva coleta e seleção de números e dados será necessário um trabalho inicial de experimentação. Nesse trabalho se verificará a eficiência das várias funções de avaliação em produzir as decisões corretas, numa amostra significativa de situações.

Devemos lembrar, finalmente, que o modelo a níveis discretos não pretende substituir os outros métodos de avaliação custo-benefício. Ele se destina a aperfeiçoar e enriquecer os processos de decisão no projeto da indústria nuclear. Evidentemente, o custo do processo de decisão fica assim aumentado; entretanto, as possibilidades de ganhos provindos de decisões mais bem informadas superam sem dúvida a sua importância.

Apêndice A. O PLANO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO

Reproduzimos abaixo alguns tópicos do plano de desenvolvimento nacional, tal como foram divulgados pelo O Estado de São Paulo de 16 de setembro de 1971. Neles baseia-se em parte o critério aderência ao plano nacional de recursos.

- (o governo deve promover) "a modernização e o fortalecimento da empresa privada nacional";
- "implementação de uma política tecnológica nacional, que permita a aceleração e a orientação da transferência de tecnologia para o país, associada a forte componente de elaboração de tecnologia própria"
- "o Brasil ingressará na era nuclear com a primeira central nuclear e com a efetivação (sic) do ciclo do combustível atômico para exploração e processamento do urânio em ampla escala";
- "o programa de pesquisa do urânio nos colocará como o segundo ou terceiro país, no mundo, nesse campo";
- "implantar-se-á um sistema de centros de tecnologia em áreas de infra-estrutura e indústrias básicas: energia elétrica, tecnologia nuclear, petróleo, telecomunicações, siderurgia, pesquisa mineral e pesquisa espacial (...)" (grifos nossos);
- (sobre a política de aproveitamento de recursos humanos) "(...). Ao mesmo tempo, a expansão das oportunidades de emprego deverá e efetivar-se a taxas crescentes, superiores à do crescimento da oferta de mão de obra, em níveis de produtividade acima das de economia de subsistência. Tais oportunidades serão abertas pelo crescimento acelerado, com adequada política tecnológica e definição de prioridades setoriais e regionais, bem como pela mobilidade social (...)"
- "efetivação (...) de grandes programas de investimento, cada um deles de valor superior ao equivalente a um bilhão de dólares, em cinco anos (...). Entre esses (...) o de energia elétrica nos moldes da primeira central nuclear e do conjunto de usinas hidroelétricas acima de 500.000 kw cada uma (...); o de mineração, abrangendo, além do minério de ferro, um conjunto de projetos de grande dimensão para lavra e industrialização";

- (em "objetivos") Terceiro (...)" 1) aumento da taxa de expansão de emprego até 3,2% em 1974, com uma taxa média de 3,1% no período de 1970/1974";

- (em "pressupostos") "o desenvolvimento pressupõe: 1) ampla disseminação dos resultados do progresso econômico alcançando todas as classes de renda e todas as regiões (...)"

- (sob o título "modelo econômico do mercado" - "Responsável pelos setores diretamente produtivos e por certas áreas de infraestrutura, a empresa privada nacional se encontrará fortalecida, com essa aliança, para competir, em igualdade de condições, com a empresa estrangeira, até em setores de tecnologia mais avançada";

- (sob o título "consolidação do centro-sul"... II (...) será imprescindível: Implantar indústrias de tecnologia refinada (...); criar estrutura integrada de indústria e ciência-tecnológica";

Transportar para índices quantitativos aplicados à realidade a verificação da efetividade do plano nacional de desenvolvimento seria em si uma tarefa formidável. Consideremos apenas os tópicos mais diretamente ligados à evolução da indústria nuclear:

- 1) - O urânio é considerado o recurso natural ao qual deve ser dada máxima prioridade para pesquisa;
- 2) - O campo da energia elétrica abrangerá 1 bilhão de dólares por ano de investimentos nos próximos 5 anos (entre energia nuclear e hidrelétrica, principalmente);
- 3) - Há uma recomendação implícita à evolução tecnológica para que ela favoreça (ou ao menos não prejudique) um aumento da taxa de emprego para um valor da ordem de 3,2% a.a.;
- 4) - É desejado um aumento da atividade de renovação tecnológica no Brasil com a maior eficiência possível internamente, ou pela importação orientada.

O primeiro e o último pontos referem-se a um esforço de desenvolvimento de recursos atualmente escassos no Brasil; o segundo, prevê recursos financeiros para o programa de energia elétrica (que a esta altura já está definitivamente ligado ao programa da indústria nuclear),

.75.

e o terceiro chama o aproveitamento de um recurso particularmente abundante (a mão de obra).

Apêndice B. UMA ILUSTRAÇÃO DO MODELO

Para mostrar como se aplica o nosso modelo de Análise Custo-Benefício, vamos descrever o processo em um determinado tipo de análise.

Proponhamos o problema de verificar as implicações de uma filosofia de nacionalização da indústria nuclear. Podemos delinear três alternativas:

- A - Alternativa "Conservadora" - Os investimentos nos primeiros anos concentrar-se-ão na preparação de pessoal de entidades que devem gerir as unidades produtivas da indústria nuclear, deixando os investimentos em bens de capital (construção das unidades) para uma oportunidade restrita. Por oportunidade restrita entendemos aqui a data em que as demandas de bens e serviços de uma unidade produtiva da indústria nuclear atinge os valores mínimos de escala exigidos nos países desenvolvidos.
- B - Alternativa "Agressiva" - Instala-se a maior capacidade de produção de bens e serviços nucleares possível na escala temporal próxima, relaxando as restrições quanto a economias de escala, e com hipóteses otimistas quanto ao desempenho interno da indústria nuclear brasileira.
- C - Alternativa "Oportunista" - Procura aplicar a cada setor da indústria nuclear, em cada momento de sua evolução, a filosofia ótima, seja ela "agressiva" ou "conservadora".

Todas as despesas de investimento, em formação de pessoal, pesquisas e desenvolvimento ou na instalação das unidades produtivas da indústria nuclear são distribuídas como custos de produção de energia elétrica no período considerado (que pode ser de 20 a 30 anos).

O delineamento das três alternativas é restrito pela condição de o custo da energia elétrica, calculado de acordo com o que foi

dito acima, não deve superar uma certa quantia.

Pode haver vários tipos de sistemas de contagem de pontos para a avaliação, mas consideraremos para todos os critérios uma escala-discreta de 1 a 7, sendo 7 o grau mais favorável (menor custo, ou maior benefício, ou maior efetividade).

As avaliações seguem o seguinte encaminhamento:

- 1) - Benefícios em Consumo Agregado. As alternativas consideram as previsões de demanda de energia como variáveis exógenas. Portanto, a diferença está nos custos, como vimos no capítulo 2. A alternativa B será evidentemente a mais cara. Podemos supor que C seja a mais barata;
- 2) - Benefícios em Redistribuição do Consumo por Regiões. Podemos supor que o plano B, mais agressivo, tenha incluído a construção de unidades da indústria nuclear em regiões mais atrasadas, mais que os outros dois, e que o plano C permita alguma flexibilidade nesse sentido;
- 3) - Benefícios em Custo de Energia Elétrica. Os planos A e B atingem o custo máximo indicado como restrição do problema. O plano C prevê um custo mais baixo;
- 4) - Custos de Capital. Já entraram no cálculo dos benefícios em consumo agregado e no cálculo dos custos de energia elétrica. Como constituem uma parte importante no cálculo dos benefícios, é lógico supor que dê a mesma configuração das preferências, só que de maneira mais nítida;
- 5) - Aderência ao Plano Nacional de Recursos. Conforme indicamos na 2a. parte, a decisão de avaliação depende de submeter-se as alternativas a um conjunto de subcritérios qualitativos. As avaliações deverão basear-se em técnicas de verificação de dominância do tipo Electre (Roy);
- 6) - Efetividade: Integração de Sequência. Submetidas as três alternativas a um júri de especialistas familiarizados ao mesmo tempo com a evolução recente da indústria brasileira e da indústria nuclear em

outros países. Este júri não terá participado do delineamento das alternativas. Os membros do júri submetem as alternativas a uma estimativa de custos de oportunidade gerados pela quebra de sequência, e classificam-nos segundo os mesmos. Se as contradições entre as avaliações do júri forem muito importantes, faz-se nova consulta. Se não, adota-se a média. É normal esperar-se que o plano B comporte - maiores riscos no caso.

- 7) - Efetividade: Integração de Escala. Constroem-se índices que são a soma ponderada das razões das unidades produtivas da indústria nuclear em funcionamento, em datas equiespaçadas. A partir desses índices, aplicando-se a taxa de desconto, compõe-se um índice geral, que por transformação linear e discretização dá o índice de avaliação.

Resulta a seguinte tabela de avaliação:

<u>Alternativa</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
<u>Critério</u>			
BCA	5	3	6
BRC	2	4	3
BCEE	4	4	6
CC	6	2	7
APNR	6	4	4
EIS	4	3	6
EIE	4	6	7
Soma simples	31	26	39

Podemos estudar como mudam as avaliações conforme atribuímos pesos diferentes aos diversos critérios. Pelo menos tão importantes quanto as decisões de qual é a alternativa mais vantajosa do ponto de vista global do modelo, são as análises de sensibilidade que podemos fazer com os pesos dos critérios.

Outro tipo de análise de sensibilidade de grande utilidade será atribuir aos critérios mais afetados de incerteza uma distribuição de probabilidades, e determinar os índices de avaliação global como outra distribuição de probabilidades, por simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHUR D. LITTLE, Inc. Competition in the Nuclear Power Reactor Industry.
Washington - 1968;
- CHAPMAN, D. Income Bias, Benefit-Cost Analysis and Consumers' Surplus :
Logical Problems in the Evaluation of Public Benefit - ORNL⁽¹⁾
4477, 1970;
- CNEN⁽²⁾ - Um Programa de Energia Nuclear para a Região Centro-Sul do Bra-
sil. ASPED⁽³⁾ Rio de Janeiro, 1968;
- HARBERGUER, A.C. Curso de Evaluacion de Proyectos - BID/IPE - São Paulo,
1971;
- LANE, J.A.-1. The Economic Incentive for Thorium Reactor Development -
ORNL - TM-2385, 1969;
- LANE, J.A.-2, et al. Power Plant Cost Normalization - ORNL - TM-2385 ,
1968;
- MARGLIN, S. Public Investment Criteria - George Allen & Unwin - London ,
1963;
- MOORE, J.R. e Baker, W.R. Computational Analysis of Scoring Models for
Research and Development Project Selection. Management Scien-
ce, vol. 16, nº 4 - Dec., 1969, pp. 213-232;
- PHILIPS, M.A. Broader Approach to Benefits from Nuclear Power and Asso-
ciated Social and Other Costs - Atom, nº 145 (UKAEA)⁽⁴⁾ - Nov.,
1968;
- PRUZAN, P.M. Is Cost-Benefit Analysis Consistent with Maximization of the
Expected Utility ? in Operational Research and Social Sciences
(ed. by) J.R.Lawrence - Tavistock Publications - London, 1969;
- ROY, B. Classement et Choix en Présence de Points de Vue Multiples (Le
Méthode Électre) Revue Française d'Informatique et Recherche -
Opérationnelle - nº 6, 1968, pp. 57-85;
- SAMUELSON, P.A. Introdução à Análise Econômica. Agir, Rio de Janeiro ,
1963.

- SILVA LEME, R.A. Aplicação da Programação Linear ao Estudo da Decisão dos Empresários - Tese de Cátedra - Escola Politécnica da USP , 1956;
- SIMONSEN, M.H. Teoria Microeconômica (Teoria do Consumidor) - Fundação Getúlio Vargas - Rio de Janeiro, 1967, vol. 1;
- SOUZA, J.A.M. Análise Econômica (Custo-Benefício) de um Programa de Introdução de Centrais Elétricas Nucleares no Sistema Elétrico da Região Centro-Sul do Brasil. CNEN, Relatório nº 21, 1971;
- STARR, C. Social Benefits Versus Technological Risks. Science, vol. 165, September, 1969, pp. 1232-1238;
- ORNL-1. A Comparative Evaluation of Advanced Converters. ORNL - 3686 , 1965;
- ORNL-2. Nuclear Centers-Industrial and Agro-Industrial Complexes. ORNL - 4290, 1968;
- USAEC-1. ⁽⁵⁾ Current Status & Future Technical and Economical Potential of LWR's - WASH - 1082, 1968;
- USAEC-2. An Evaluation of High Temperature Gas-Cooled Reactors - WASH - 1085, 1969;
- USAEC-3. An Evaluation of Alternate Coolant Fast Breeder Reactors - WASH 1090, 1969;
- USAEC-4. Cost-Benefit Analysis of the U.S. Breeder Reactor Program -WASH 1126, 1969;
- USAEC-5. Potential Nuclear Growth Patterns. WASH-1098, 1970;
- USAEC-6. The Nuclear Industry, 1970.

(¹) - ORNL = Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, Estados Unidos;

(²) - CNEN = Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro;

(³) - ASPED = Assessoria de Planejamento e de Desenvolvimento da CNEN , Rio de Janeiro;

(⁴) - UKAEA = United Kingdom Atomic Energy Authority, Londres;

(⁵) - USAEC = United States Atomic Energy Commission, Washington.