

Os dados da Tabela 8 mostram que o mar adjacente ao Brasil é rico em recursos pesqueiros, uma vez que todos os países vizinhos e até países transcontinentais estão se beneficiando crescentemente dele; no entanto, deve-se também perceber que já existem sinais de esgotamento da biomassa, como é o caso da sardinha. Estes fatos aconselhariam, por conseguinte, a realização de acordos e convênios com os outros países, para racionalizar a extração destes recursos, e também um maior apoio para pesquisas orientadas no sentido de se conhecer e manejar adequadamente as riquezas do mar brasileiro. <sup>108</sup>

## 5.6. Recursos minerais

Os recursos minerais são, em geral, todos os recursos físicos extraídos da superfície ou sub-superfície da Terra, e cuja composição vai desde os elementos mais simples (pedras e materiais de construção) até os mais complexos (ferro, ouro, prata). As formas e variedades de como se apresentam estes recursos são todas conhecidas e são devidamente classificadas; no entanto, é desconhecida sua exata dimensão ou magnitude.

O número total dos elementos químicos naturais existentes na Terra chega a 91, dos quais 72 são metais, 10 não-metais e 7 semimetais (Feltre, 1993, p. 48-50). Os maiores e mais conhecidos estoques inventariados pelos geólogos chegam a 65 e deles os mais usados são 56 (Brown, 1994, BI, p. 5-8).

---

<sup>108</sup> Nos anseios de uma política controlada e racional da exploração dos recursos marinhos, existem os acordos firmados na Convenção do Mar, realizada em Montego Bay, Jamaica, em 1982, e convocada pelas Nações Unidas. Nesta reunião, se reconheceram, entre outras, a faculdade dos países costeiros para exercer seus direitos de pesca exclusiva em suas 200 milhas de áreas adjacentes ao mar, desde que façam estudos e levantamentos do potencial existente e dos excedentes que houver, que poderiam ser cedidos a outros países, com base em convênios ou acordos. A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar entrou em vigência no dia 14 de novembro de 1994, e parece que o Brasil, pelo menos até o presente, não conseguiu completar os estudos correspondentes que permitam identificar os “excedentes”, que poderiam ser cedidos a outros países. Esta última informação tem sustentação nos seguintes artigos jornalísticos: Sônia Silva, “Avaliação dos recursos do mar está atrasada”, em *O Estado de São Paulo*, de 05.02.1994, p. A-14, e Olivia Silva Telles, “Falta de pesquisa ameaça as 200 milhas marítimas”, em *A Folha de S. Paulo*, de 27.02.1994, p. 4-2.

Os **metais**, em geral, são sólidos brilhantes, bons condutores de calor e eletricidade, e com propriedades de alto ponto de fusão, resistentes à tração, maleabilidade (para fazer chapas e lâminas), ductibilidade (para fazer fios) e apropriados para fazer ligas (ligando-se entre eles ou com outros não metálicos). Entre estes metais destacam-se, por sua importância econômica, o ferro, estanho, alumínio, cobre, chumbo, zinco etc.

Os **não-metais** não têm as características dos metais, o que não diminui sua importância na produção; entre eles, tem-se o carbono, nitrogênio, oxigênio, flúor, fósforo, enxofre, cloro, selênio, bromo e iodo. Os **semimetais** têm algumas características dos metais; entre eles, tem-se o boro, silício, germânio, arsênio, antimônio, telúrio e o polônio.

Dada a grande preponderância dos metais, o que se segue estará referido fundamentalmente a estes elementos.

### **Disponibilidade dos recursos físicos na terra** <sup>109</sup>

De acordo com os geólogos, existe uma grande disponibilidade de recursos metálicos na crosta terrestre, na parte que é acessível hoje e na que seria no futuro (até 10 km de profundidade). De acordo com análises da composição das rochas, estima-se as massas de minérios existentes, segundo o exposto na Tabela 9.

*Tabela 9: Massas de minerais existentes na crosta terrestre*

<b>Metais</b>	<b>Volume em t</b>	<b>Teor Médio Mínimo Explorável %</b>
---------------	--------------------	---------------------------------------

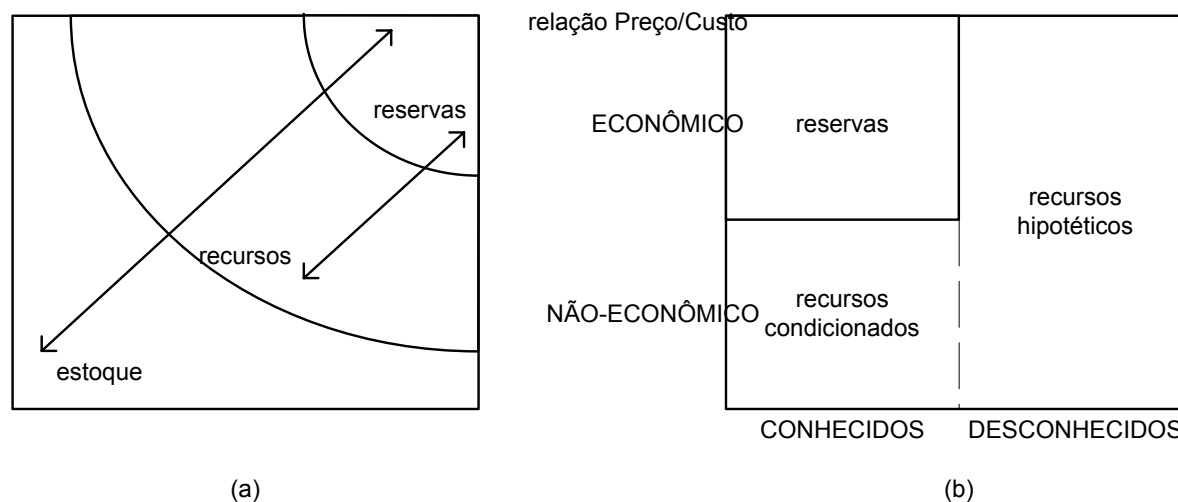
<sup>109</sup> Esta seção foi desenvolvida com base em Geoff Brown, et. alii (1994, BI).

Alumínio, Al	$8 \times 10^{19}$	38,00
Ferro, Fe	$5 \times 10^{19}$	30,00
Níquel, Ni	$8 \times 10^{16}$	1,00
Cobre, Cu	$5 \times 10^{16}$	0,50
Chumbo, Pb	$1,3 \times 10^{16}$	5,00
Mercúrio, Hg	$8 \times 10^{13}$	0,20
Prata, Ag	$7 \times 10^{13}$	0,01
Ouro, Au	$2 \times 10^{12}$	$8,00 \times 10^{-4}$

Fonte: Elaborado com base a Geoff Brown (1994, op. cit. p. 74 Tabela 7).

Esta massa de minerais seria o limite superior dos **estoques**, que após definidos os teores mínimos que viabilizariam sua extração (coluna 3 da Tabela 9) dariam lugar aos **recursos**, e estes, por sua vez, quando devidamente localizados e viabilizados economicamente, dariam lugar às **reservas**. Estas três últimas categorias estão simbolizadas no Gráfico 31 (a).

Gráfico 31: Classificação das disponibilidades minerais



Do Gráfico 31 (b) deduz-se que os **recursos** podem ser subdivididos em conhecidos e desconhecidos (eixo horizontal), sendo os primeiros sustentados por cálculos de engenharia geológica (lado esquerdo), e os segundos, os hipotéticos, pressupostos no conhecimento geral e teorias geológicas (lado direito). Paralelamente, os

recursos também podem ser classificados considerando-se sua relação Preço/Custo (eixo vertical), caso se assuma um processo de produção para eles; assim, eles podem ser econômicos ou subeconômicos se sua relação é positiva (parte superior) ou negativa (parte inferior). Então, as **reservas**, que são de interesse imediato para a economia fariam parte dos recursos viáveis a serem explorados hoje, dadas as condições técnicas e econômicas.

Os limites entre estoques, recursos e reservas estariam variando permanentemente ao longo do tempo e do espaço, em função dos investimentos em exploração, das condições do mercado e preços para estes bens e também dos avanços tecnológicos, que por seu lado, definem o teor mínimo de exploração, reduzem custos e/ou condicionam o que produzir:

*“Paradoxalmente, tecnologia melhorada pode algumas vezes ter o efeito de reduzir reservas. Por exemplo, depósitos de ricos minérios de ferro, que já foram trabalhados com lucro, hoje são muito pequenos para acomodar novos equipamentos. Muitas camadas de carvão que foram lavradas com sucesso por métodos desatualizados, hoje são muito estreitas para serem extraídas por equipamento automático. Em ambos os exemplos, uma proporção de reservas foi relegada à categoria de recursos...”*<sup>110</sup>

## **Oferta e demanda de minerais**

Ante a aparente imensidão das disponibilidades de minerais na crosta terrestre, a parte conhecida como reserva é pequena, especialmente quando se considera a demanda existente e prevista. Os dados sobre a oferta e demanda de minerais são escassos e bastante discutidos; mesmo sendo antigos, devido à transcendência que em seu momento causaram e para fins de comparação e análise passar-se-á a utilizar os dados de Meadows e Pearce.

Na Tabela 10 apresenta-se o balanço oferta-demanda de Meadows e sua equipe (1972) que, na oportunidade, sustentou os trabalhos do Clube de Roma.

---

<sup>110</sup> Brown Geoff, (Op. cit., p. 78.).

Tabela 10: Oferta e demanda de minerais 1970 — Meadows

Minerais	Reservas conhecidas (milhões unidades) (1)	Produção consumo (milhões unidades) (2)	Período de vida das reservas (anos)	
			economia estática (3) = 1/2	economia dinâmica (4) = $\ln [1/2r + 1]/r$
Alumínio t	1.170	11,7	100	31
Cromo t	774	1,8	420	95
Cobalto lb	4.800	43,6	110	60
Cobre t	308	8,5	36	21
Ouro Troy	353	32,1	11	9
Ferro t	100.000	416,7	240	93
Chumbo t	91	3,5	26	21
Manganês t	800	8,2	97	46
Mercúrio Frascos	3,34	0,25	13	11
Molibdênio lb	10.800	136,7	79	34
Níquel lb	147.000	980	150	53
Prata Troy	5.500	343,75	16	13
Estanho tlg	4,3	0,25	17	15
Tungstênio lb	2.900	72,5	40	28
Zinco t	123	5,3	23	18

Fonte: Elaborado com base no documento de Meadows, (1972, p. 55, Tabela 4).

Desta tabela deduz-se que hoje, para praticamente todos estes recursos poderia ter-se problemas de abastecimento, fato que não está acontecendo, e, contrariamente, como veremos daqui a pouco, existem grandes reservas de muitos deles. Isto permite admitir parte das muitas críticas feitas a estes trabalhos, como no caso presente, de não ter sido previsto o aumento das reservas e nem sido assumido como válidas as tendências de consumo ao longo do tempo, negligenciando as substituições e o melhor uso técnico dos recursos.

Na Tabela 11 apresenta-se o trabalho de D. W. Pearce (1976), que foi bem recebido pelo mundo acadêmico. Desta tabela, que também tem suas deficiências (como a afirmação de que as reservas de cobre são de 808 milhões de toneladas), deduz-se que, até o ano 2020, a humanidade irá gradualmente enfrentando problemas pelos crescentes déficits no abastecimento de minerais, especialmente daqueles mais nobres como cobre, chumbo, alumínio, estanho, zinco e mercúrio.

Tabela 11: Oferta e demanda de minerais, 1970 — Pearce

Minerais	Reservas em milhões de toneladas (1)	Demanda 1968-2020 em milhões de toneladas (2)		+ Exced. Demanda; 2 > 1 - Exced. Oferta; 2 < 1 (3)	
		Alta	Baixa	D. Alta	D. Baixa
Ferro	97.000	35.000	48.457	-	-
Cromo	775	5,4	10,2	-	-
Magnésio	2.580	360	608	-	-
Fósforo	21.800	1.942	3.950	-	-
Potássio	110.000	2.421	3.804	-	-
Vanádio	10,11	3,13	4,36	-	-
Cobalto	2,40	1,54	2,27	-	-
Níquel	73,5	52,6	76,0	-	+
Enxofre	2.767	5.867	9.329	+	+
Titânio	147	153	386	+	+
Manganês	797	853	1.195	+	+
Cobre	808	975	2.073	+	+
Molibdênio	5,41	11,62	16,48	+	+
Tungstênio	1,41	4,23	5,57	+	+
Chumbo	95	296	377	+	+
Alumínio	1.168	2.277	4.974	+	+
Estanho	4,91	15,18	26,27	+	+
Zinco	124	581	774	+	+
Mercúrio (frascos)	3,34	8,8	13,6	+	+

Fonte: Elaborado com base em Pearce (1976, p. 204).

Com base nos dados das Tabelas 10 e 11 pode-se afirmar, em geral, que existe um estoque relativamente limitado de reservas minerais, e que este vai se esgotando ao longo do tempo, em função da demanda derivada existente para cada um destes bens.

No entanto, dados recentes parecem condizer a afirmação de Brown, no sentido de que as reservas não são fixas, que elas mudam continuamente; assim, conforme registra a Tabela 12, elas aumentaram muito. Igualmente, no consumo, registram-se maiores montantes, a ponto de se chegar à afirmação de que “nas últimas

cinco décadas, depois da II Guerra Mundial, o volume consumido de minerais não combustíveis excedeu à soma total extraída da Terra durante toda a história da humanidade.”<sup>111</sup> (tradução pessoal)

*Tabela 12: Oferta e demanda de minerais — Hodges*

<b>Minerais</b>	<b>Reservas, 1993 em milhões de toneladas métricas</b>	<b>Consumo Anual, 1991 em milhões de toneladas métricas</b>
Alumínio	28.000	17,2
Cobre	590	10,7
Ferro	230.000	959,6
Chumbo	130	5,3
Níquel	110	0,9
Estanho	10	0,2
Zinco	330	7,0

Fonte: Elaborado com base em Hodges, C. A. (1995, p. 1307, Tab. 3).

Estes últimos dados também confirmariam as teses de Kay & Mirrlees (1975, p. 165), quando estes menosprezavam as preocupações pelo perigo de esgotamento das reservas, especialmente daquelas que sobrepassassem os 100 anos. Textualmente, Hodges (1995, p. 1307) diz que “contrariamente às expectativas de meados deste século, pensa-se agora que as disponibilidades da oferta de minerais, metálicos e não metálicos, são suficientes para os próximos 100 anos ou algo assim.” (tradução pessoal)

### **O processo produtivo de minério**

Em geral, o processo a ser seguido para atribuir valor aos recursos minerais segue esta seqüência:

---

<sup>111</sup> Hodges, Carroll Ann (1995, p. 1305).

- 1º. Exploração: Trata-se da busca de regiões mineralizadas, utilizando referências geológicas, amostragem e um mínimo de concentração natural.
- 2º. Mineração: É o processo da extração, carregamento e transporte dos conteúdos mineralizados, com maior ou menor proporção de materiais residuais.
- 3º. Concentração: O mineral é britado, moído e tratado (física e/ou quimicamente), buscando aumentar a proporção do conteúdo fino (no caso do cobre, entre 12% a 30%, por exemplo).
- 4º. Fundição: Trata-se de separar os conteúdos de mineral puro, utilizando o calor (blíster) para conseguir maiores proporções de mineral fino (no caso do cobre, 98,5%).
- 5º. Refinação: Obtém-se os materiais isolados e com um alto grau de pureza, mediante o uso da eletricidade (o conteúdo fino chega a 99,9% no caso do cobre).

### **O processo ótimo da produção**

Muitos economistas não pouparam esforços para definir o valor e o uso ótimo dos recursos minerais. Dentre esses estudiosos, passa-se a revisar e resumir os trabalhos de Lewis Cecil Gray, Harold Hotelling, Richard Lecomber, Robert S. Pindyck, David Levhari e Robert D. Cairns.

**Lewis Gray** (1913 e 1914), cujas idéias já foram de alguma forma resumidas no item 1.3, afirma textualmente que o valor do carvão deriva da capacidade de se obter renda pela sua venda.

*“O valor do carvão deve-se ao fato de que este produz um retorno líquido maior que a despesa para extraí-lo; isto é, o valor é um resultado da renda...”*<sup>112</sup>  
(tradução pessoal)

Especificamente, e para provar sua afirmação, o autor utiliza o caso de uma mina de carvão com uma reserva inicial de 1.200 toneladas e com os dados que aparecem na Tabela 13.

---

<sup>112</sup> Gray, L. C. (1914, p. 481).



Tabela 13: O ótimo na produção de carvão — estática

Produção Q (1)	Receita PQ (2)	Custo C (3)	Lucro Líq. LL (4) = 2-3	Custos Unitários		Lucro Líquido Unitário	
				CMe (5) = 3/1	CMg (6) = $\Delta 3/\Delta 1$	LLMe (7) = 4/1	LLMg (8) = $\Delta 4/\Delta 1$
100	100	120	-20	1,2	—	-0,2	—
200	200	200	0	1	0,8	0	0,2
300	300	240	60	0,8	0,4	0,2	0,6
400	400	200	200	0,5	-0,4	0,5	1,4
500	500	260	240	0,52	0,6	0,48	0,4
600	600	330	270	0,55	0,7	0,45	0,3
700	700	413	287	0,59	0,83	0,41	0,17
800	800	512	288	0,64	0,99	0,36	0,01
900	900	612	288	0,68	1,00	0,32	0,00
1000	1000	730	270	0,73	1,18	0,27	-0,18
1100	1100	869	231	0,79	1,19	0,21	-0,39

Fonte: Elaborado com base em Gray (1914, p. 472, Tabela I).

Gray mostra como, numa situação concorrencial, com preço de mercado igual a  $P = 1$ , e seguindo as orientações da teoria econômica convencional, o ótimo dar-se-ia no ponto em que  $P = CMg$ , quer dizer, em  $Q = 900$ , o que daria um  $LL = 288$ ; no entanto, diz Gray, se se decidisse prolongar a produção ao longo do tempo o aconselhável seria fixar a produção no nível do  $CMe$  mínimo, ou o  $LLMe$  e  $LLMg$  máximo, fixando-se, assim, a produção em  $Q = 400$ . Deste modo, em quatro anos sucessivos, esgotar-se-ia a reserva total e se obteria um valor atual descontado de 547,<sup>113</sup> superior à alternativa anterior de 288.

<sup>113</sup> No caso de se decidir produzir 400 unidades por ano, e considerando-se uma taxa de desconto  $r = 10\%$ , ter-se-ia:

1	2	3	Total
---	---	---	-------

Num segundo momento, e utilizando o mesmo caso anterior, porém com uma reserva de 3.700 toneladas de carvão, Gray amplia seu método do ótimo na produção apresentando o lucro líquido médio descontado, e em seguida busca igualar o retorno médio mínimo ao longo do tempo, como se vê na Tabela 14.

Tabela 14: O ótimo na produção de carvão — dinâmica

Prod Q	Lucro Líquido Médio Descontado: $LLMe_d = \frac{LL_t / Q_t}{(1+r)^t}$ $r = 0,10$								
	Anos t	1	2	3	4	5	6	7	8
400		0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29
500		0,40	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25	0,21
600		0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18
700		0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10
800									
900									

Fonte: Elaborado com base em Gray (Ob. Cit., p. 47, Tabela II).

Nesta tabela, para definir o ótimo na extração, deve-se considerar as quantidades que permitem obter, ao menos, o mesmo lucro líquido médio descontado, ao longo do tempo, até esgotar a reserva existente. Neste caso, o lucro líquido médio de corte seria de \$ 0,29 por tonelada, definindo assim a escala de produção anual:

Primeiro ano: = 600 t

2º a 4º ano: 500 x 3 = 1.500

5º a 8º ano: 400 x 4 = 1.600

Q	400	400	400	1200
RT	400	400	400	
C	200	200	200	
LL	200	200	200	
LL <sub>d</sub>	200	181,8	165,2	547

Total = 3.700

A seguir, Gray aplica o mesmo esquema para um cenário de maior preço ( $P = 2$ ), e este aumento dá lugar a um encurtamento no horizonte da produção (de 8 a 6 anos). Isto também aconteceria caso se aumentasse a taxa de desconto; quer dizer: diante de maiores preços e/ou taxa de juros maior o interesse por encurtar os períodos de esgotamento das reservas de minerais.

Uma crítica que se pode fazer ao esquema de Gray é que ele assume a existência de custos crescentes na mineração, ao contrário daquilo que mostra a realidade, já que toda a atividade de mineração exige elevados níveis de investimentos iniciais em ativos fixos. Evidentemente, esta crítica deixaria de ter sentido caso fosse aceita a tese dos que afirmam que na mineração primam os custos crescentes (ver rodapé 25).

**Harold Hotelling** (1931), em seu artigo já várias vezes citado e cujo resumo consta do item 1.3, nega valor à teoria econômica do equilíbrio estático, quando se trata de definir o ótimo de um recurso exaurível:

*“A teoria econômica do tipo equilíbrio-estático, que hoje está bastante desenvolvida, é plenamente inadequada para uma indústria na qual a manutenção indefinida de uma taxa estável de produção é uma impossibilidade física e, nesta hipótese, a produção está destinada a declinar...”*<sup>114</sup> (tradução pessoal)

O modelo de Hotelling tem pressupostos explícitos e implícitos.

Pressupostos explícitos:

- a) Existe uma dotação de reservas minerais, com um valor líquido (livre de custos) igual a  $P$ .

---

<sup>114</sup> Hotelling Harold (1931, p. 138-9).

- b) Os proprietários destes recursos observam um comportamento maximizador de lucros ao longo do tempo.

Pressupostos implícitos:

- a) Os atuais níveis e relações do consumo e produção continuarão vigentes no futuro.  
 b) As reservas de minerais são conhecidas e fixas.  
 c) O custo marginal é constante ao longo do tempo.

Com estes pressupostos, e para o caso de um mercado concorrencial, Hotelling estabelece esta igualdade:

$$P_t = P_0 \cdot e^{r \cdot t}$$

onde:

$P_t$  = Valor líquido do recurso numa data futura  $t$

$P_0$  = Valor líquido do recurso hoje (descontado)

$r$  = Taxa de juros do mercado

$t$  = período de capitalização ou desconto

Num certo momento, esta relação teria o seguinte comportamento:

$$\frac{\partial P_t}{\partial t} > 0$$

A proporção de seu crescimento, com o passar do tempo, teria que observar uma estreita relação com a taxa de juros do mercado, porque:

$$\frac{\dot{P}_t}{P_t} = r$$

Daí, deduz-se uma regra de decisão, amplamente conhecida no mundo acadêmico, como a “Regra de Hotelling”.

Se  $\frac{\dot{P}_t}{P_t} = r$  seria então indiferente, ao longo do tempo, explorar ou não a reserva mineral.

Se  $\frac{p}{P_t} > r$  deve-se deixar os recursos no campo, já que eles estão se revalorizando numa taxa maior que a vigente no mercado.

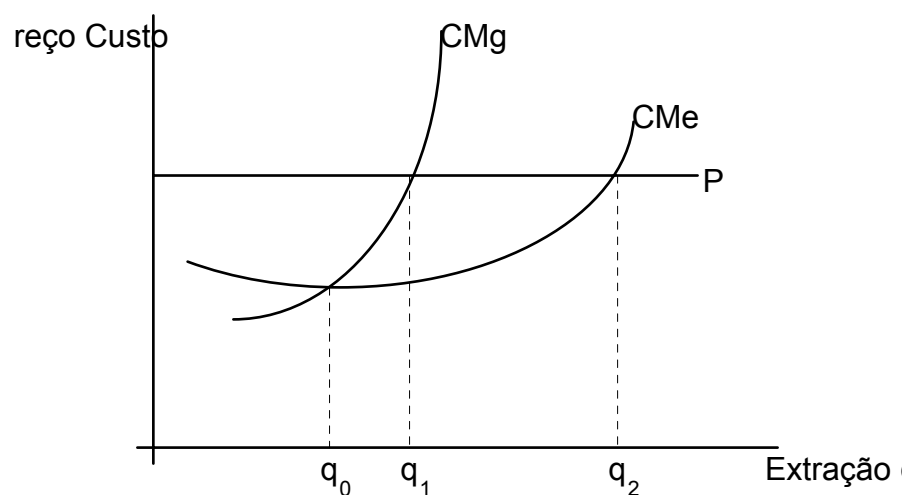
Se  $\frac{p}{P_t} < r$  deve-se proceder à extração e comercializar as reservas minerais já que os capitais líquidos têm maior valor de capitalização que os ativos reais (a reserva mineral).

Embora a tese de Hotelling seja bastante convincente, especialmente por sua linguagem matemática, as evidências empíricas não parecem confirmar estas afirmações, como analisa Cairns (1994).

**Richard Lecomber** (1979), seguindo o raciocínio de Gray e Hotelling e assumindo a não existência de custos de capital, formaliza o processo de otimização da extração mineral, estabelecendo os princípios a seguir relacionados.

O ótimo na produção, num ambiente concorrencial, dar-se-ia no ponto onde o custo médio é mínimo (ponto  $q_0$ , no Gráfico 32) e não no ponto onde o preço iguala o custo marginal (ponto  $q_1$ ), próprio de qualquer outra atividade econômica; esta aparente contradição se justifica porque este tipo de atividade aconselha postergar a extração para períodos futuros, nos quais se conseguiria menores custos e maior rentabilidade. Igualmente, caso o livre acesso fosse permitido, a produção se fixaria no ponto  $q_2$  porque todos os extratores estariam desprovidos do espírito maximizador de lucros e seu único interesse seria obter uma renda hoje, por pequena que fosse.

Gráfico 32: O ótimo na extração de minerais

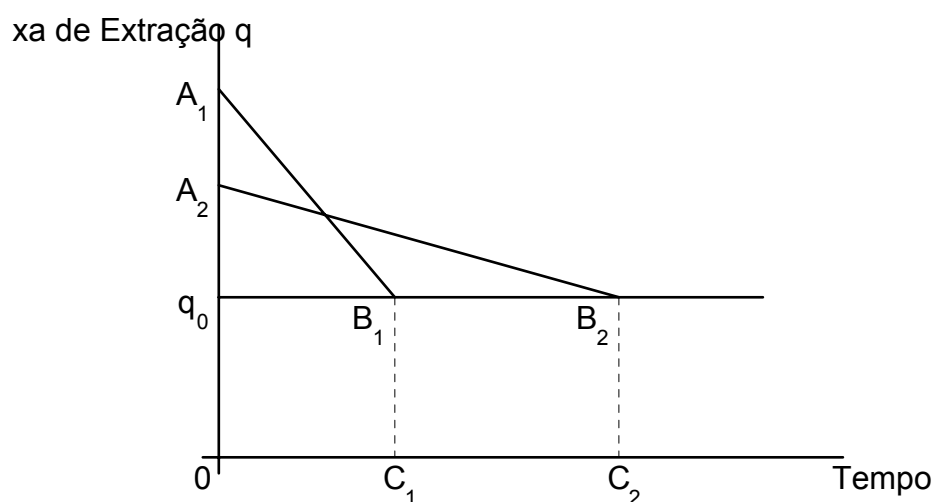


O lucro líquido marginal descontado ou o “custo de uso” ( $\lambda$ ) deve ser constante ao longo do tempo, isto é, o lucro marginal deve aumentar a uma taxa igual à taxa de juros ( $i$ ) do mercado; se assim não fosse, poder-se-ia transferir a extração do período de menor retorno para outro de maior retorno e, com isso, seria alcançado um maior valor atual líquido.

A extração deve acontecer no tempo  $t$ , se e somente se, o lucro médio descontado (para ao menos uma taxa de extração) exceder o custo de oportunidade da extração, isto é, o lucro marginal descontado (constante) dos outros períodos ( $\lambda$ ).

Lecomber aceita a afirmação de Gray e Hotelling segundo a qual ante maiores taxas de juros correspondem maiores taxas de extração e menores períodos de exaustão dos recursos, porém adverte que maiores taxas de juros significam, também, maiores custos de capital e equipamentos, e como tal menores taxas de extração; no entanto, num balanço entre ambas as forças, pesaria mais a primeira, como se vê no Gráfico 33.

Gráfico 33: A taxa de juros e o período de exaustão



$A_1 B_1$  = Produção/tempo correspondente a uma alta taxa de juros

$A_2 B_2$  = Produção/tempo correspondente a uma baixa taxa de juros

Estoque de recursos: Área  $A_1 B_1 C_1 O$  = Área  $A_2 B_2 C_2 O$ .

Logo:  $O C_2 > O C_1$

Quer dizer, diante de um aumento da taxa de juros, inicialmente a taxa de extração também aumentará, porém logo a taxa de extração diminuirá ao longo do tempo, para marcar menores períodos de exaustão, em relação ao correspondente à menor taxa de juros ( $O C_1 < O C_2$ ).

**David Levhari e Robert S. Pindyck** (1981), numa coletânea sobre vários testes empíricos da tese de Hotelling, concluem não existir uma relação estreita entre os preços dos minerais e a taxa de juros do mercado; que a forma do comportamento dos preços no tempo tem uma forma de U, quer dizer, decrescente no começo e logo a seguir crescente.

A explicação para este comportamento dos preços estaria no fato de que os preços dos minerais são função tanto do estoque existente destes bens no mercado (trata-se de bens duradouros, tais como o diamante, ouro, prata e outros metais preciosos) quanto de a indústria mineira enfrentar custos crescentes.

**Robert D. Cairns** (1994) contesta também a tese de Hotelling, no sentido que a relação  $\frac{P}{p} = r$  deveria nortear a política de produção ótima. Ele se apóia tanto nos trabalhos de Barnett e Morse (1963), que afirmam ser decrescentes os preços dos minerais no último século, como no trabalho de Heal & Barrow (1980), que comparam os preços do cobre, prata, estanho e zinco com a taxa de juros do mercado e não encontram uma correlação satisfatória.

Com estes e outros argumentos, Cairns sugere retomar os trabalhos de Gray (1913 e 1914) para desenvolver um método ótimo do processo da produção mineral, já que, aparentemente, o tratamento deste setor deve ser heterogêneo e adquire grande importância segundo o nível dos investimentos (custos) e acesso às informações (preços de mercado previstos e teor mínimo de extração).

Do mundo dos profissionais em mineração, é de se mencionar o trabalho de Kenneth F. Lane (1988), que se sustenta principalmente no método do valor atual descontado (VAL), visto anteriormente. Nesse trabalho, são feitas três objeções aos princípios geralmente aceitos, baseados na experiência prática da mineração:

1º) Não é válida a forma de definir as reservas econômica de minerais (preço maior que custo marginal), já que, assim, estaria sendo esquecida a capacidade instalada na mina, para extrair e processar minerais (capital e equipamentos, vias, depósitos, energia, administração etc.); como no caso dos varejistas, trata-se de maximizar o uso do espaço disponível, optando-se pela extração de tudo aquilo que permita a máxima rentabilidade, deixando fora o resto.

*“Esta política é consistente com a interpretação do critério que considera um mínimo lucro marginal, porém os defensores deste critério usualmente não fornecem dados para a determinação desta margem, sendo ela parte da política da empresa...”*<sup>115</sup> (tradução pessoal)

2º) Não é possível assegurar que todo o material definido como reserva de minerais seja realmente extraído, já que a distribuição deles no espaço mineralizado é irregular e dispersa; por outro lado, existe um mínimo de corte variável, que condiciona o que se deve e o que não se deve extrair.

3º) Ante a lógica do mercado, que a um maior preço corresponde uma maior oferta, na mineração acontece algo diferente; diante de um maior preço passa-se a extrair minerais de menor teor de corte, e se a quantidade de mineral extraído permanece a mesma, como na realidade ocorre, a produção de concentrados será menor.

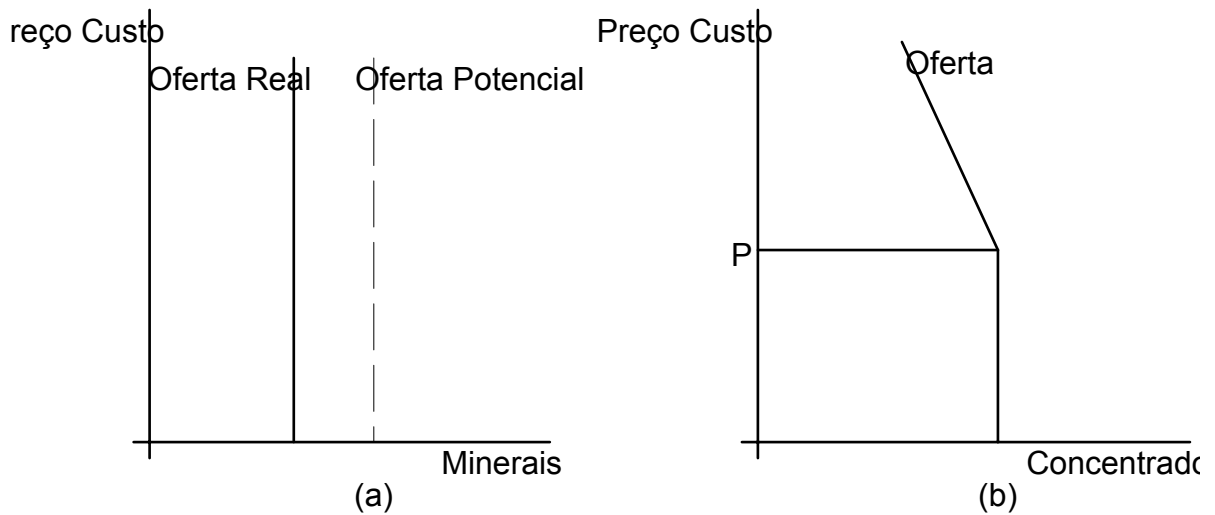
Tudo isto mostra que a oferta existente das reservas de minerais seria inferior àquelas usualmente informadas (Gráfico 34 (a)), e que, com preços elevados, a oferta de concentrados oferece uma linha de inclinação negativa, como se vê no Gráfico 34 (b).

*Gráfico 34: Oferta de minerais e concentrados*

---

<sup>115</sup> Lane, Kenneth F. (1988, p. 8).





O modelo de Lane considera, principalmente, a seguinte equação:

$$\text{Max}V = \sum_0^T \frac{V(P_t, C_t, R_t, \Omega_t)}{(1+r)^t}$$

onde:

V = valor atual descontado

$P_t$  = preço de venda dos minerais extraídos que, por sua vez, é função do preço de venda dos produtos finais (bens refinados)

$C_t$  = custo de extração

$R_t$  = montante das reservas remanescentes

$\Omega_t$  = teores mínimos de mineral fino

r = taxa de desconto

t = tempo

Este modelo é aplicado para sete casos de minerais, que estão anexos ao trabalho, definindo para eles seu valor atual, período de vida, teor mínimo e produção.

### **A formação dos preços dos produtos minerais**

Usualmente e, em princípio, poder-se-ia afirmar que a oferta e a demanda destes bens determinam seus preços correspondentes; no entanto, dada a complexidade e estrutura destes mercados (produção, comércio e consumo) e os diversos fatores que interferem neste processo (ciclos econômicos, reservas, estoques, exploração, descobrimentos, investimentos, inovações tecnológicas, prognósticos, sindicatos de produtores e sindicatos de consumidores etc.), dizem os especialistas, não resulta fácil qualquer esforço de formalização:

*“Não é de surpreender que não exista ainda uma teoria universalmente aceita, relativa à fixação dos preços dos minerais...”*<sup>116</sup> (tradução pessoal)

**Rex Bosson e Benson Varon** (1977) indicam que no mercado de minerais atuam simultaneamente mercados livres e mercados integrados, sendo estes últimos integrados horizontal e verticalmente. Uma mostra de mercados livres seriam as Bolsas de Metais de Londres (LME) e a correspondente de Nova York (COMEX). Os mercados integrados horizontalmente funcionam na base de contratos de longo prazo, nos quais não é difícil identificar os preços combinados. Nos mercados integrados verticalmente, nos quais todo o processo produtivo pertence a uma mesma empresa (geralmente uma multinacional), é praticamente impossível identificar os preços ou ter alguma confiança em sua veracidade.

Existe uma tendência de que os mercados integrados horizontalmente sejam majoritários, em detrimento dos mercados livres. Por exemplo, no caso do ferro 20% das transações correspondem aos mercados livres e o restante é dividido em partes iguais entre os integrados horizontal e verticalmente.

Paralelamente, também existe uma tendência a se formar grupos de produtores e consumidores com os propósitos de conseguir melhores preços e/ou manter estáveis os suprimentos. Entre estes grupos aparecem os seguintes:

- . Conselho Internacional do Estanho (ITC), desde 1956: produtores e consumidores

---

<sup>116</sup> Bosson & Varon (1977, p. 105).

- . Conselho dos Países Exportadores de Cobre (CIPEC), desde 1967: produtores.
- . Associação Internacional da Bauxita (IBA), desde 1974: produtores
- . Associação dos Países Exportadores de Ferro (APEMF), desde 1975: produtores.
- . Associação Internacional de Produtores de Mercúrio (AIPM), desde 1975: produtores

**Robert Pindyck** (1978), com base em um modelo que considera tanto um cenário de cartel ou monopólio como concorrencial, estima os preços e a margem de lucros líquidos para o petróleo, bauxita e cobre, com referência ao período 1975-2010. Para o caso do cartel, ele utiliza esta proposta: <sup>117</sup>

$$Max.W = \sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+\delta)^t} \cdot \left[ P_t - \frac{m}{R_t} \right] \cdot D_t$$

onde:

W = valor total dos benefícios descontados

N = 40 — 60 anos

$\delta$  = taxa de desconto (0,05 e 0,10 ao ano)

$P_t$  = preço real no período t

m = custo médio inicial

$R_t$  = reserva existente do mineral, sob o domínio do cartel no período t

$D_t$  = demanda de minerais, atendida pelo cartel

Este modelo, aplicado iterativamente, permite encontrar valores ótimos para as variáveis  $P_t$  e W, no caso do cartel. Os produtores que atuam fora do cartel, que observam um comportamento competitivo, limitam-se a tomar os preços fixados pelo mercado, de acordo com a seguinte relação:

$$P_t = (1 + \delta) \cdot P_{t-1} - \delta \cdot \frac{m}{R_{t-1}}$$

Esta equação, junto com a condição limitativa de que o esgotamento acontece ao mesmo tempo em que a quantidade da demanda chega a zero; por causa dos preços proibitivos, é utilizada para determinar a trajetória do preço competitivo. Além disso, tanto o cartel quanto o setor competitivo devem também observar estas condições:

$$TD_t = f_1 (P_t, Y_t, TD_{t-1})$$

$$D_t = TD_t - S_t$$

$$S_t = f_2 (P_t, S_{t-1})$$

$$R_t = R_{t-1} - D_t$$

$$\frac{\partial P_t}{\partial \alpha} > 0, \text{ até que } R_t = 0, \text{ no mesmo instante em que } TD_t = 0,$$

onde:

$TD_t$  = demanda total do recurso (cartel + concorrencial)

$Y_t$  = produto ou renda nacional

$S_t$  = oferta do setor competitivo

$\Pi_t$  = benefício líquido descontado, correspondente ao período t

As principais conclusões que se pode deduzir do trabalho de Pindyck são:

- 1ª) A curto prazo, o nível dos preços, lucros e rendas do cartel são maiores que aqueles do mercado concorrencial e, correspondentemente, a quantidade demandada é maior

---

<sup>117</sup> Pindyck espera que os integrantes do setor competitivo também definam seus preços e sua produção otimamente, como o cartel (ver nota de rodapé 7 de Pindyck).

em concorrência, diante do monopólio. A longo prazo, ambas as situações vão mudando gradualmente, até se inverter totalmente num extremo.

- 2ª) Os elevados e crescentes preços do petróleo e da bauxita, no final da década de 70, dever-se-iam mais à força do cartel existente em torno destes bens (a OPEP e o IBA tinham dois terços da oferta mundial do petróleo e da bauxita, respectivamente) e, em menor medida, à esgotabilidade de tais recursos. No caso do cobre, como a força do cartel é menor (o CIPEC só tinha um terço do mercado do cobre), os preços eram mais sensíveis à esgotabilidade do recurso.

**Margaret E. Slade** (1982) fez uma análise do comportamento dos preços no período 1870-1978 e chegou à conclusão que a tendência geral deles corresponde a uma curva em forma de U, quer dizer, tomando o tempo como variável independente aparece a função quadrática seguinte:

$$P = a + b.t + c.t^2$$

Os valores dos parâmetros a, b e c, e do coeficiente de correlação correspondente, aparecem na Tabela 15:

*Tabela 15: Os preços de minerais no período 1870-1978 — Slade*

Índices com Preços Constantes, IPA-US (1967=1)

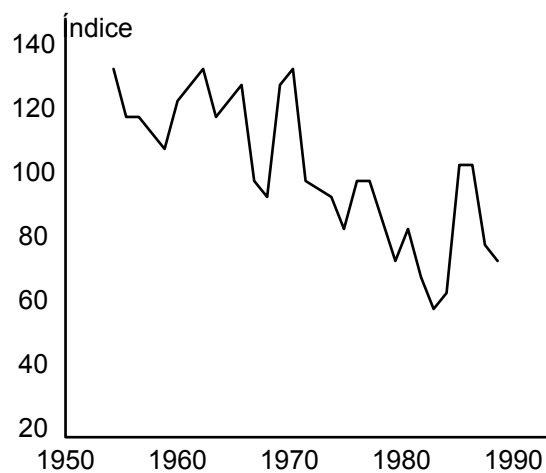
Mineral	Coeficientes e Parâmetros			
	a	b	c	R <sup>2</sup>
Alumínio	563	-6,5	0,020	0,91
Cobre	165	-1,9	0,007	0,72
Ferro	354	-4,4	0,018	0,69
Chumbo	22	-0,14	0,00057	0,52
Níquel	626	-8,4	0,031	0,86
Prata	1692	-23,0	0,083	0,96
Estanho	205	-2,6	0,014	0,77
Zinco	30	-0,23	0,00086	0,06

Fonte: Slade M.E. (1982, p. 129, Tabela III).

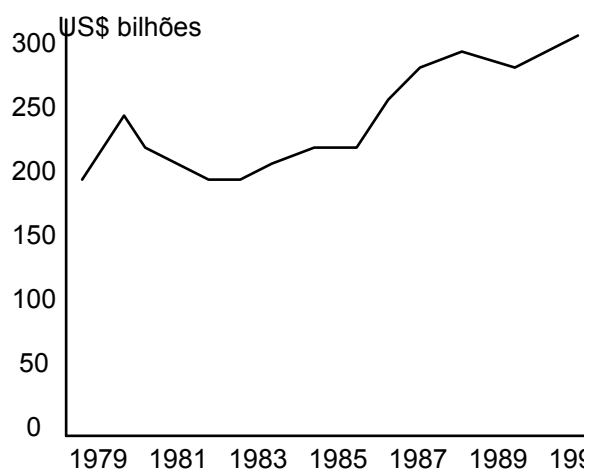
A tendência ligeiramente decrescente do preço do alumínio se explicaria pelas novas descobertas de grandes reservas e pelas inovações tecnológicas e economias de escala, que reduzem custos. Os preços do chumbo e zinco permanecem quase estáveis e os preços do cobre e prata, e particularmente o estanho, são crescentes, explicados tanto pela maior procura como pela ausência de substitutos significativos.

**Carroll Ann Hodges** (1995), contrariamente a Slade, mostra que a tendência dos preços dos minerais não combustíveis, no período 1957-1991, é decrescente, como se pode ver no Gráfico 35a: esta queda seria consequência, em parte, do maior abastecimento dos mercados internacionais (Gráfico 35b).

**Gráfico 35a:** Índice de tendência dos preços de minerais não combust. - preç. const. 80

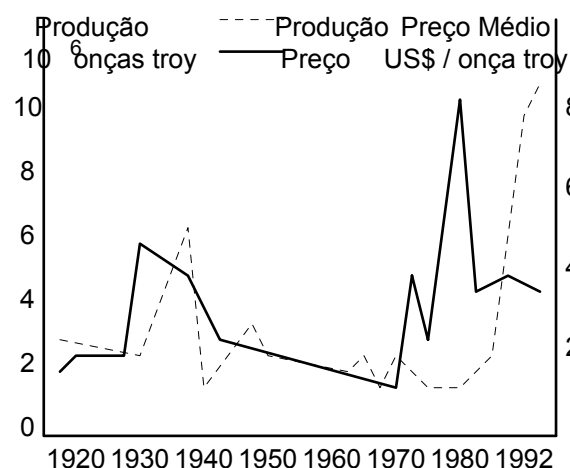


**Gráfico 35b:** Volume exportado de minerais não combust.; em bilhões de dólares de 1991.

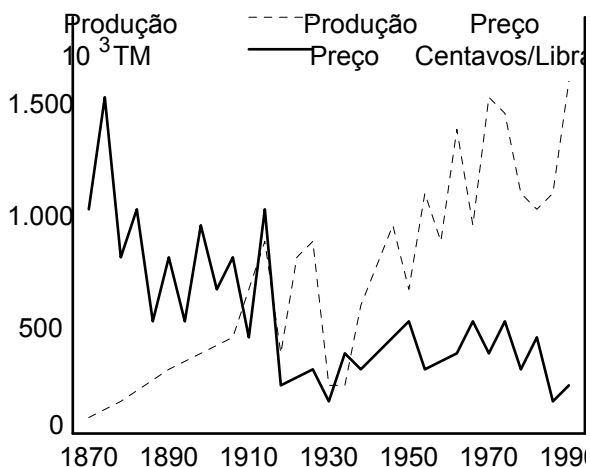


A dicotomia assinalada entre produção e preços tem maior força quando se consideram os casos do ouro (Gráfico 36a) e do cobre (Gráfico 36b).

**Gráfico 36a:** Tendências na produção e preço do ouro; em preços constantes de 1987



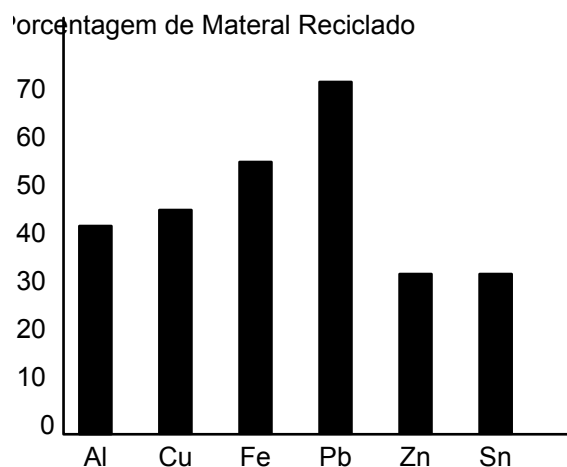
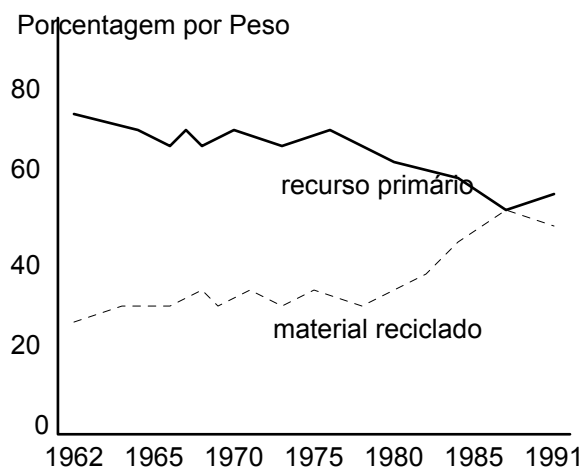
**Gráfico 36b:** Tendências na produção e preço do cobre; em preços constantes de 1987



Além da causa assinalada - maior produção e estocagem de minerais - como explicação da queda generalizada dos preços, também aparece o uso crescente da sucata e material reciclado como parte da oferta destes recursos; isto pode ser comprovado nos Gráficos 37a e 37b, para o caso específico dos Estados Unidos.

**Gráfico 37a:** Proporção de uso de material reciclado na indústria dos Estados Unidos

**Gráfico 37b:** Proporção relativa de material reciclado, em cada um dos metais usados nos Estados Unidos



Ante este confronto entre Slade e Hodges, fez-se um teste particular para o cobre, baseado nos dados de Panigassi e nos da **Gazeta Mercantil** de São Paulo, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16: Preços do cobre na Bolsa de Londres - US\$/tonelada em valores correntes

Anos	Cotação
1960	430
1970	1.220
1980	1.140
1990	1.300
1994	2.200 (14/10/1994)
1995	2.945 (27/07/1995)
1995	2.795 (06/11/1995)

Fonte: 1960-1990; Panigassi, M.E.F. (1993, p 47A) / 1994-1995; **Gazeta Mercantil**.



Os dados desta tabela mostram que a posição de Slade seria de maior crédito, ao menos para o caso do cobre.

### **Caminhos práticos para estimar o valor dos minerais**

Dadas as dificuldades, limitações e contradições que se acabou de apresentar, determinar de forma concreta um modo de avaliar o valor dos depósitos minerais no campo não será uma tarefa fácil. No entanto, pode-se tentar percorrer o seguinte roteiro.

Para minas que já estão em operação:

- 1º) Tomar ou construir um fluxo de caixa para a mina, considerando os últimos 10 anos de operação. Cuidar para que neste fluxo apareçam desagregados preços, quantidades e custos, para cada um dos minerais existentes. Todos estes valores seriam apresentados em valores constantes, tomando-se como base o último ano ou ano base da operação.
- 2º) Poder-se-ia utilizar o modelo de Pindyck (1978), já apresentado anteriormente, para fazer as projeções de preços finais, até o esgotamento das reservas da mina em análise.
- 3º) Deduzir destes preços finais todos os custos correspondentes a todo o processo da produção (custos implícitos, explícitos e de oportunidade), para se chegar ao preço dos concentrados ou minerais, segundo o caso. Para esta operação pode-se usar o modelo seguinte, de Panigassi, (1993, p. 46):

$$P_c = P_m - (TC + RC + D) + C$$

onde:

$P_c$  = Preço do concentrado

$P_m$  = Preço do mercado final (Bolsa de Londres ou Nova York)

TC = Custo de fundição

RC = Custo de refino

D = Deduções por impurezas

C = Créditos por metais preciosos existentes

Dependendo das circunstâncias, caso se pretenda calcular o valor bruto no campo dever-se-ia deduzir também os custos dos concentrados e transportes.

- 4º) Projetar para o futuro uma estrutura diferenciada de produção e custos, assumindo os mesmos níveis de despesas unitárias e considerando as reposições e manutenção dos ativos fixos.
- 5º) Construir um fluxo de caixa para o período futuro, utilizando os dados obtidos nos itens 3º e 4º e descontar estes valores a partir do ano base, utilizando uma taxa de desconto apropriada.
- 6º) Construir um fluxo de caixa, paralelo ao anterior, no qual apareçam dados dos lucros líquidos médios descontados, como nas Tabelas 13 e 14, para assim definir o lucro líquido médio de corte e marcar as quantidades a serem deduzidas ano a ano, bem como o tempo de operação.
- 7º) Com os dados dos preços definidos no item 3º e as quantidades ótimas do item 6º passar-se-ia a recalculer os fluxos de caixa descontados, e o VAL obtido seria o valor do depósito mineral.

Para o caso de minas novas, ou ainda sem nenhum ou pouco grau de histórico produtivo, dever-se-ia considerar os dados de minas similares ou parecidas e construir um balanço de operações que preencha os dados exigidos no item 1º e, com base nisso, fazer os cálculos subseqüentes.

Como uma alternativa a todo o processo anterior, já de *per si* complicado e sofisticado, apresentam-se dois métodos bastante simples, que podem servir, ao menos, como referências rápidas sobre o valor dos depósitos minerais.

#### **Método sugerido por Bosson & Varon (1977, p. 207)**

Toma-se o valor de mercado de cada um dos minerais correspondentes, preferencialmente os de longo prazo, e deduz-se todos os custos do processo intermediário, até o nível de início de operação; este preço líquido seria multiplicado pela quantidade de minerais existentes na reserva em estudo.

Por exemplo: se o preço líquido do ferro no campo é de US\$ 0,10 por tonelada, e a quantidade de minerais existentes nos depósitos da Cia. Vale do Rio Doce é de 41,2 bilhões de toneladas, então o valor destes minerais, ao menos para o caso do ferro, seria de 4,12 bilhões de dólares. Evidentemente, como a Vale tem outras reservas,

como bauxita, manganês, ouro, cobre e caulim, todos eles teriam que ser avaliados, como o caso do ferro, para assim se obter o valor conjunto destes depósitos.

### Método sugerido por R. F. Mikesell (1989, p. 295-6)

Tome-se o valor médio anual do saldo líquido do fluxo de caixa da mina em análise e assumam-se que ele é perpétuo; para se calcular o VAL desta perpetuidade pode-se utilizar a fórmula correspondente, já exposta no item 4.2.

Exemplo: no mesmo caso da Cia. Vale do Rio Doce — se o último lucro líquido anual da empresa foi de US\$ 800 milhões, então:

$$\text{VAL} = 800/0,10 = 8 \text{ bilhões de dólares.}$$

O valor dos depósitos mineralizados da Vale do Rio Doce alcançaria US\$ 8 bilhões.

## 5.7 Recursos energéticos

Por recursos energéticos entendem-se todos os bens que, em seu estado natural ou modificado, são capazes de gerar e produzir calor, força e iluminação, necessários para o consumo e a produção. Os recursos energéticos podem ser classificados assim:

Pela sua Natureza	Não Renováveis	Petróleo Carvão Gás Natural Energia Nuclear
	Renováveis	Água (hidroelétricas, moinhos, navegação) Biomassa (lenha, carvão vegetal, álcool, biogás) Solar (secado, calor, energia fotovoltaica) Geotermal (calor, energia elétrica) Eólico (bombas, navegação, moinhos) etc.
	Convencionais (cuja tecnologia está	Petróleo

	completamente desenvolvida a custos considerados aceitáveis)	Carvão Energia Hidroelétrica Biomassa
Segundo seu grau de aceitação <sup>118</sup>	Não Convencionais (cuja tecnologia já está demonstrada, mas que ainda apresentam problemas de aceitação)	Marés Ventos Ondas Xisto Geotérmico Fissão Nuclear Solar
	Exóticos (cuja tecnologia não está demonstrada e, por conseguinte, os custos e sua aceitação pela sociedade não podem ainda ser avaliados)	Energia Solar (painel de células) Calor dos oceanos Fusão Nuclear
Segundo seu grau de transformação química <sup>119</sup>	Primários (não se produz uma transformação química antes de sua utilização)	Petróleo, carvão e gás natural (quando utilizados como combustíveis) Centrais Nucleares (Fissão) Centrais Hidroelétricas Biomassa
	Secundários (energia elétrica gerada por fontes térmicas)	Petróleo, carvão e gás natural (utilizados em centrais termoelétricas)

Ao longo deste item tratar-se-á, principalmente, dos recursos definidos como não renováveis, convencionais e primários.

## **Evolução histórico-tecnológica da energia**

A disponibilidade da energia para a humanidade sempre foi motivo de preocupações, estudos e até de guerras, tudo orientado no sentido de assegurar o abastecimento deste elemento vital para a economia.

Desde os primórdios da civilização, quando sucessivamente passou-se a aproveitar a energia da lenha, do sol e dos ventos, primeiro nas civilizações orientais e a seguir na Europa, passo a passo o homem foi incorporando aquelas primeiras fontes

<sup>118</sup> Tomado de Goldemberg, José (1979, p. 29-30).

<sup>119</sup> Tomado do Banco Mundial (1980, p. vii).

energéticas, o carvão, o petróleo, a energia hidráulica, a energia nuclear, e mais recentemente a energia da biomassa (álcool carburante), buscando sempre, quer na natureza, quer na pesquisa científica, novos recursos que assegurem maior conforto e maiores benefícios para si, particularmente, e para a humanidade de um modo geral.

Em muitos destes estágios o homem chegou a temer pelo esgotamento destes recursos, como é o caso do economista Jevons,<sup>120</sup> que, no século passado, chegou a prognosticar a exaustão do carvão na Inglaterra; no entanto, e graças aos avanços da tecnologia e o descobrimento de novas fontes e reservas adicionais de recursos energéticos, a humanidade sempre contornou o fantasma do déficit nesse campo. Na Tabela 17 vê-se as diferentes fontes de abastecimento do consumo que, sucessivamente, vão-se incorporando.

---

<sup>120</sup> Jevons, W. S. (1865, p. 272-88) afirma que diante de um consumo anual de carvão de 83,6 milhões de toneladas (1861), que cresce a uma taxa de 3,5% ao ano, e uma reserva total da Inglaterra de 83 bilhões de toneladas de carvão “... o nosso atual ambiente de progresso feliz é uma coisa de duração limitada...” (tradução pessoal).

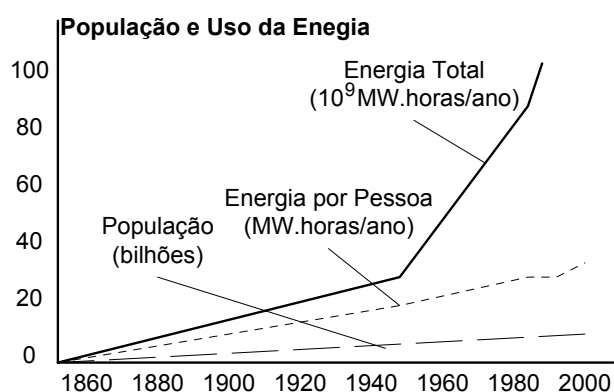
**Tabela 17: Evolução do consumo da energia primária (em milhões de toneladas de equivalente petróleo — Mtep)**

Anos	Carvão	Petróleo	Gás Natural	Eletricidade	Madeira e Outros	Total	Taxa de Crescimento % aa
1700	3				144	147	—
1750	5				180	185	0,46
1800	11				217	228	0,42
1850	48				288	336	0,78
1900	506	20	7	1	429	963	2,13
1950	971	497	156	29	495	2.148	1,62
1973	1.563	2.688	989	131	670	6.041	4,60
1989	2.266	3.095	1.652	350	744	8.107	1,86

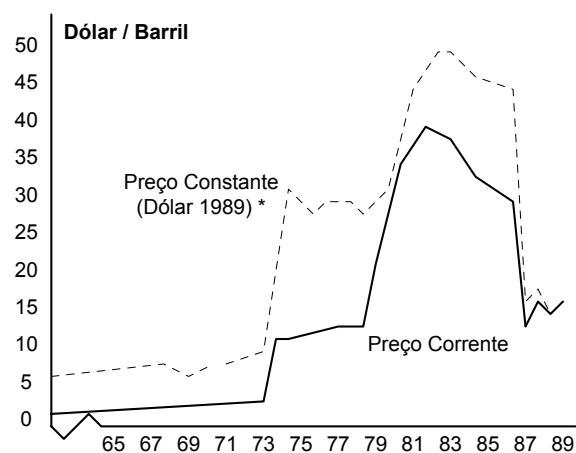
Fonte: Elaborado com base em Martin, Jean-Marie (1990, p. 42).

Este temor, do déficit no abastecimento da energia, vive latente hoje em dia no pensamento da população e dos intelectuais, especialmente depois dos choques no abastecimento do petróleo (1973, 1979 e 1983). Cohen (1995, p. 341), por exemplo, mostra taxas crescentes da demanda de energia, no período 1900-2000, em níveis similares aos de Jevons, como se pode ver no Gráfico 38, alheio ao fato de que o consumo da energia parou de crescer a partir do primeiro choque do petróleo (última coluna da Tabela 17) e mais ainda, que se passou a revalorizar outras fontes substitutas ao petróleo, como é o caso do carvão (primeira coluna da Tabela 17) e da energia nuclear (Tabela 21). Em todo caso, o abastecimento de petróleo se regularizou e seus preços mostram uma tendência regressiva, como se pode ver no Gráfico 39.

**Gráfico 38: Crescimento da população e uso da energia inanimada — Cohen, J. E.**



**Gráfico 39: Evolução dos preços do petróleo — Martin, J. M.**



\* Preço das importações mundiais deflacionado pelo índice de preço das exportações de produtos manufaturados dos países da OCDE.

Paralelamente, também pelo lado da produção e do consumo, a indústria em geral vai se aprimorando para que os equipamentos e moradias consumam cada vez

menos energia, por unidade de produto. Por exemplo, Martin J. M. (1990, p. 26-7) cita como a construção de casas e caldeiras na França requer cada vez menos energia para aquecimento dos lares.

Anos	Consumo médio residencial, para aquecimento, em toneladas equiv. petróleo-tep
1950	3,4
1970	2,4
1989	1,1

Igualmente cita o caso da indústria automobilística nos Estados Unidos, que mercê de novas tecnologias vem reduzindo o consumo médio de combustíveis dos veículos de sua fabricação.

Anos	Consumo médio de gasolina / veículo - litros / 100 quilômetros
Até 1970	20
1990	8
Previsto	3

Tudo isto demonstra como, até agora, o descobrimento e uso de novas fontes energéticas, assim como os aperfeiçoamentos tecnológicos, tornam infundados os temores de déficit absoluto no abastecimento da energia.

### **A oferta da energia**

A oferta de energia se sustenta no potencial de reservas existentes, seus custos e produção correspondentes. Na Tabela 18 vê-se como, no potencial de recursos energéticos, se destacam principalmente os recursos não renováveis, que conseguem manter quase os mesmos níveis, no período 1973-1989. Observa-se, igualmente, o grande peso que têm, neste potencial, as reservas de carvão. Entre os recursos renováveis destacam-se, por seu volume, as fontes geotermiais.

*Tabela 18: O potencial mundial de recursos energéticos (em bilhões de toneladas de equivalente petróleo - Gtep)*

Natureza	1973		1989		
	Reservas confirmadas	Reservas prováveis	Reservas confirmadas	Reservas prováveis	
<b>Não Renováveis:</b>					
Petróleo	80 - 90	250 - 360	100	200	
Petróleo não convenc.	97 - 120	280 - 500	100	100	
Carvão	91 - 1.540	770 - 3.360	600	4.400	
Gás Natural	29,2 - 41,3	77,4 - 292,4	100	300	
Urânio	0,9	1,3 - 3,2	30**	300**	
SUBTOTAL (sem Urânio)	297,2 - 1.791,3	1.377,4 - 4.512,4	900	5.000	
<b>Renováveis:</b>					
Biomassa			3	4	
Hidráulica			1,5	1,7	
Solar Térmico			}	0,17	
Solar Fotovoltaico				0,5	0,06
Eólico					0,026
Geotermal				880	
SUBTOTAL			5	886	
TOTAL (sem urânio)			905	5.886	

\* em milhões de toneladas

\*\* em anos de consumo

Fonte: Elaborado com base em Pearce, D. W. (1976, p. 208) e Martin, J. M. (1990, p. 112-7).

Na Tabela 19, referente à produção mundial da energia, vê-se como a produção de petróleo, carvão e gás natural significa 88% da geração de energia primária no mundo inteiro, sinal do peso que os recursos não renováveis têm, ainda, no abastecimento da energia; contudo, comparando esta tabela com a anterior, deduz-se que em caso de emergência as reservas confirmadas de recursos renováveis poderiam suprir até 61% da produção total de energia.

*Tabela 19: Produção mundial de energia 1989 (milhões de toneladas de equivalente petróleo - Mtep)*

Fontes Primárias	Quantidade	%
Petróleo	3.200	39
Carvão	2.261	28
Gás Natural	1.658	20
Eletricidade	350	4
Biomassa e Outros	744	9
TOTAL	8.213	100

Fonte: Elaborado com base em Martin, J. M. (1990, p. 19).

Na Tabela 20, relativa aos custos da energia, observa-se como o custo CIF do petróleo, carvão e gás natural é decrescente, nessa ordem; observou-se igualmente na tabela anterior, que a produção de energia segue esta mesma ordem. Seria esta constatação um indicativo de que se prefere produzir aqueles combustíveis mais caros?



Uma explicação, no caso do petróleo, estaria nas particularidades deste combustível quando dedicado ao transporte, em geral, o qual mostra uma baixa relação peso/potência, pelo menos diante dos seus mais imediatos concorrentes. Outra explicação estaria nas facilidades e menor custo de seu transporte terrestre e marítimo, assim como na maior rapidez em todas as suas operações.

*Tabela 20: Custos da energia na Europa - dólar/tep*

Fontes	Custo produção	Transp. terrestre	Transp. marítimo	Refino	Distrib. estocagem	Total
Petróleo	37 - 44	—	7	22 - 33	37 - 59	103 - 142
Carvão	30 - 45	15 - 23	15	—	23	83 - 106
Gás Natural	40 - 48	—	20 - 72	—	16 - 56	76 - 176
Nuclear	75 - 150					
Geotérmica	225 - 450					
Biomassa	375 - 745					
Solar	600 - 895					

Fonte: Para o petróleo, carvão e gás usou-se o documento de Martin, J. M. (1990, p. 30), e para o restante, Araújo, N. W. (1988, p. 32), que, por sua vez, cita como sua fonte o Instituto Francês de Petróleo e o 13º Congresso Mundial da Energia, 1986. Quer dizer, todos estes custos estariam dados em preços França / Europa, sendo que os três primeiros em valores de 1990 e, os restantes, de 1986.

Da mesma forma, o elevado nível da produção do carvão se explicaria por sua grande reserva (Tabela 18) e pela fortíssima mecanização de sua exploração, principalmente nas minas a céu aberto, fatos que lhe permitem ser um concorrente do petróleo, especialmente depois da crise de 1973 (Tabela 17).

A menor produção do gás natural repousaria nas dificuldades e maiores custos de seu transporte, distribuição e estocagem (Tabela 20), e também na sua exploração economicamente competitiva, que só se justifica quando se processam altos volumes de gás natural, para gerar economias de escala.

Na estrutura de custos de petróleo, carvão e gás natural observam-se variações significativas, e admitindo um preço de venda único para cada um destes recursos tem-se que aceitar a existência de altos níveis de rendas diferenciais na exploração destes recursos.

Sobre os custos das outras fontes (na Tabela 20, os custos da energia nuclear, geotérmica, biomassa e solar), vê-se que são bastante elevados, o que justificaria serem elas consideradas não convencionais ou até exóticas para os padrões

atuais; de qualquer forma, tais fontes constituem uma reserva ou alternativa para as atuais ou futuras restrições na oferta de energia.<sup>121</sup>

Grande parte da oferta mundial da energia se expressa pela produção de eletricidade. Na Tabela 21 observa-se como grande parte da eletricidade origina-se de fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural, que justamente mostram os maiores custos, pelo menos comparados com as fontes renováveis como a hidráulica, que mostra custos bem mais baixos. Uma justificativa para esta contradição seria que hoje quase já não existe potencial para a energia hidroelétrica (Tabela 18). Outra explicação adviria do fato de que as fontes hidráulicas exigem investimentos iniciais maiores que as outras alternativas (Tabela 22), além da maior demora na obtenção de energia que delas provêm.

*Tabela 21: Produção e custos da eletricidade (mundo)*

Fontes	Produção 1989		Custos 1988 US\$ / tep, FOB
	Mtep	%	
<b>Primárias:</b>			
Hidráulica	155	18,4	140
Nuclear	144	17,1	266
Geotérmica	2	0,002	—
<b>Secundárias:</b>			
Carvão	326	38,6	225
Petróleo	104	12,3	371
Gás Natural	108	12,8	—

<sup>121</sup> A título de exemplo, pode ser citado o uso do álcool como combustível, empregado no Brasil, desde 1975, como uma alternativa às outras fontes energéticas, e que chegou a seu nível máximo no ano de 1987; nesse ano, a produção atingiu a 187.000 barris/dia (Ozires Silva, 1988, p. 96), chegando a representar, então, 50% do consumo interno de combustíveis para veículos. No entanto, seus altos custos (US\$ 298 tep, segundo FIESP/CIESP, 1988, p. XVII) originaram elevados prejuízos para a Petrobrás (Cz\$ 10 bilhões, até agosto de 1988, segundo Ozires Silva, 1988, p. 97), já que quando vendido ao público, o litro de álcool hidratado custava 31% menos que a gasolina (Ozires Silva, 1988, p. 101). Estas devem ter sido as razões para explicar a queda da produção de álcool combustível, no período 1988-1991, embora no biênio 1991-1992 se observe um ligeiro acréscimo (Kang Wu, 1995, p. 81). Recentemente, a Agência Internacional de Energia (AIE) tem reiterado este elevado custo do álcool - US\$ 45 dólares/barril - como fator negativo de sua viabilidade, recomendando o uso do acentuado potencial hidroelétrico do Brasil, que quase não é usado, embora reconhecendo os elevados investimentos iniciais que esta alternativa requer. (Alberto Tamer "AIE - prevê aumento do consumo de petróleo," *O Estado de São Paulo*, 25.04.95, p. B-12).

Outros	5	0,006	—
<b>TOTAL</b>	<b>844</b>	<b>100,0</b>	

Fontes: Para a produção da eletricidade usou-se o documento de Martin, J. M. (1990, p. 36) e, para os custos, o documento FIESP / CIESP (1988, p.xvii).

*Tabela 22: Investimentos iniciais para gerar eletricidade*

Fontes	Custos US\$ / kW
Hidráulica	2.500 - 4.000
Nuclear	1.500 - 2.500
Carvão	1.000 - 1.500
Petróleo e Gás	um pouco menor que o carvão

Fonte: Martin, J. M. (1990, p. 30).

## A demanda de energia

O volume da demanda de energia vai buscar explicação no tamanho, costumes e renda da população; igualmente, o consumo é influenciado pelas características da estrutura produtiva e, principalmente, pelos preços e disponibilidades da energia, em cada país ou localidade.

Em nível mundial, constata-se que a indústria é uma importante consumidora da energia (Tabela 23) e, em menor medida, os transportes e as outras atividades.<sup>122</sup>

*Tabela 23: A demanda mundial de energia, 1989 (milhões de toneladas de equivalente petróleo - Mtep)*

Setores	Quantidade Mtep	%
Indústria	2.025	33
Transporte	1.367	23
Residencial - terciário - agricultura	2.212	37
Usos não energéticos	414	7

<sup>122</sup> As diferenças entre a oferta e a demanda (Tabelas 19 e 23) podem ser explicadas, segundo o mesmo Martin J. M., pela venda de combustíveis líquidos para navios, variações de estoques e perdas de transporte e utilização.

TOTAL	6.018	100
-------	-------	-----

Fonte: Elaborado com base em Martin, J. M. (1990, p. 19).

Ao longo do tempo viu-se, já na Tabela 17, como o consumo da energia apresenta taxas crescentes no presente século, embora a partir de 1973 exista uma ligeira moderação nesta taxa. Paralelamente, no Gráfico 39, observa-se como o preço do principal combustível, o petróleo, tende a se estabilizar nos últimos anos. Com estas referências, poder-se-ia afirmar que daqui para a frente a demanda de combustíveis continuará a se incrementar, não tanto como afirma Cohen (Gráfico 38), porém a taxas crescentes. Esta última afirmação é reforçada quando se constata que grande parte da população mundial ainda registra baixos níveis per capita de consumo de energia, sendo de se esperar, entretanto, que buscará aumentar o seu consumo, como de fato é deduzido da Tabela 24.

*Tabela 24: Estrutura relativa de consumo de energia, por países, em %*

Ano	Países desenvolvidos OCDE	Ex-países socialistas	Países em desenvolvimento	Total
1950	75	17	8	100
1973	62	22	16	100
1987	50	24	26	100

Fonte: Elaborado com base em Martin, J. M. (1990, p. 43).

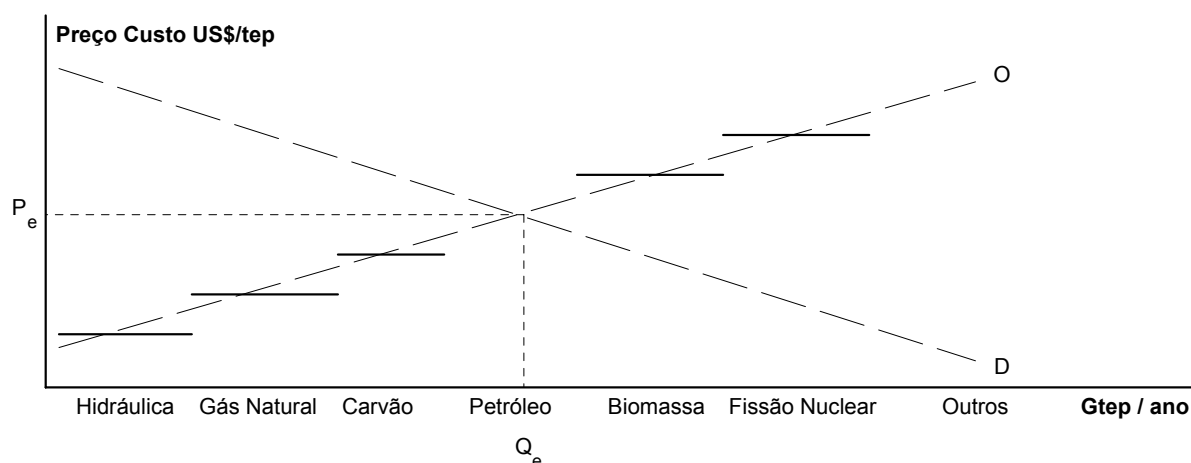
### **Como se determinam os preços da energia?**

Em princípio e desde que seja aceito a existência de um mercado amplo, integrado e concorrencial, seriam a interação da demanda e a oferta da energia que definiriam os preços e quantidades de equilíbrio, em cada lugar e tempo, para cada tipo de combustível.

Se a energia é medida em unidades de calor e a oferta e a demanda são assim quantificadas, então a curva da oferta seria a resultante das ofertas individuais das diferentes fontes vistas anteriormente, em proporção crescente ao seu custo marginal,

como hipoteticamente demonstra o Gráfico 40. Similarmente, a demanda por estes bens seria igual à somatória das disposições a pagar dos consumidores e da demanda derivada por estes insumos, pelo lado da produção.

Gráfico 40: Oferta e demanda da energia primária



Evidentemente, este esquema funciona parcialmente na realidade, já que está limitado pelas imperfeições do mercado — que de alguma forma já foram assinalados no item 5.6, quando se abordou o caso dos recursos mineiros e que são válidos também neste caso — e pelas características particulares de cada uma das fontes energéticas, resumidas nestas últimas páginas. Nesta linha do desenvolvimento do estudo, seria necessário considerar a existência de outros modelos de formação dos preços da energia?<sup>123</sup>

<sup>123</sup> Justamente Martin J. M. (1990, p. 74), citando a P.N. Giraud, indica para o caso do carvão "...desde 1977 ou 1978 os preços dos carvões são praticamente independentes, excetuando-se algumas influências conjunturais, dos preços do petróleo... Eles fluem entre limites que lhes são próprios, ou seja: um piso oferecido pelo custo das minas australianas menos onerosas (três quartos da produção), ou 40 dólares/t; um teto que corresponde ao custo das minas norte-americanas, ou 70 dólares/t...". Igualmente Martin J. M. (1990, p. 76) citando Percebois J., para o caso do gás natural, afirma: "... Os preços internacionais do gás natural, com efeito, são estritamente dependentes do preço do petróleo...". Finalmente, e tratando sobre o preço do petróleo, Martin J. M. (1990, p. 79) considera "... O preço do petróleo é determinado pelo preço de seus substitutos. Isso pode ser verdade a curto prazo, mas não a médio e longo prazos, pelo menos enquanto os derivados do petróleo tiverem outros usos além dos específicos (combustíveis). Em decorrência

Adicionalmente ao que foi considerado, é forçoso reconhecer que em cada mercado e em cada país as peculiaridades destes mercados e os interesses dos governos acabarão influenciando nas estruturas de preços e quantidades. Isto acontecerá principalmente porque em quase todos os países existe uma forte intervenção das políticas públicas neste campo. Esta intervenção pode se dar, tanto pela participação direta na produção, quanto pela política fiscal (impostos / subsídios) ou, ainda, pelo controle do comércio exterior.

### **Como estimar o valor econômico de uma fonte energética?**

Com base em todas as considerações anteriores, e observando as particularidades de cada caso, pode-se traçar um roteiro para calcular o valor econômico das fontes energéticas em geral.

No caso dos recursos não renováveis, o caminho a seguir seria quase igual ao esquema apresentado anteriormente para o caso dos recursos minerais, considerando-se, no entanto, as permutabilidades e rigidez existentes.

No caso dos recursos renováveis e, especificamente, na hipótese de uma localidade com potencialidades de energia hidroelétrica, o caminho a seguir seria este:

- 1º Estimar a demanda atual e futura da energia total do mercado correspondente e deduzir daí a parte relativa à energia hidráulica em geral e, por conseguinte, à planta em particular.
- 2º Calcular os custos necessários para viabilizar uma planta hidroelétrica que atenda o todo ou uma parte do déficit identificado no item anterior. Nestes custos estariam compreendidos os investimentos iniciais e as despesas de operação, tudo num horizonte de 20 anos, por exemplo.<sup>124</sup>
- 3º Do total da energia produzida deduz-se as perdas e sobras de praxe, para assim se ter um montante de energia a ser comercializado. O preço de venda desta energia

---

de sua flexibilidade... o filão petrolífero é o único que pode garantir o fechamento do balanço mundial. Finalizando, é exatamente o preço do petróleo que se impõe aos outros combustíveis...”.

<sup>124</sup> Os 20 anos são recomendados pela CEPAL (1958, p. 147).

poderia ser igual ao custo médio (Estados Unidos) ou igual ao custo marginal (França), ou como assinala Martin J. M.:

*“... A fim de que o fornecimento mais econômico para o consumidor também o seja para a coletividade nacional, os preços com base nos quais o usuário efetua suas escolhas devem refletir corretamente os custos que o fornecedor suportará para assegurar esse fornecimento suplementar... O custo desta... é denominado custo marginal de longo prazo. Ele permite a construção de tarifas, variáveis segundo as horas e as estações, que refletem as diferenças de custos ligadas ao caráter não estocável da eletricidade...”* Martin J. M. (1990, p. 40).

Estes preços devem estar em harmonia com seus substitutos imediatos e o preço de equilíbrio do mercado (Gráfico 40).

- 4º No caso em que o projeto exija a utilização / inutilização de terras de cultivo, pastagem ou florestais, ou outros recursos em geral, a renda capitalizada destes recursos sacrificados deve ser considerada como um custo de oportunidade para o projeto.
- 5º Com os dados dos quatro itens anteriores, proceder-se-ia à elaboração de um fluxo de caixa, com um horizonte de 20 anos, registrando-se receitas e despesas, para assim apurar o lucro líquido de cada ano.
- 6º Estes lucros líquidos anuais seriam descontados a partir do presente e, assim, este valor atual líquido seria equivalente ao valor da fonte em análise.

Para outras fontes de recursos não renováveis, como a energia da biomassa, por exemplo, além do raciocínio que se acaba de apresentar, deve-se ter presente os limites biológicos existentes e, para tanto, pode-se utilizar o raciocínio apresentado para os recursos florestais e recursos pesqueiros, em que se trata de ajustar o ótimo econômico ao ótimo biológico, para assim se ter um desenvolvimento sustentável.